N° d'Ordre : 74
Série : U

THÈSES

PRÉSENTÉES

à la Faculté des Sciences de l'Université de Strasbourg

POUR OBTENIR

le Titre de Docteur de l'Université de Strasbourg

Mention : SCIENCES

PAR

JEAN LOEB

Ingénieur-Chimiste I. C. S.

Licencié ès-Sciences

PREMIÈRE THÈSE

ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES DIASTASIQUES dans les farines de froment et Contribution à l'Etude de la Fermentation Panaire

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

Soutenues le *devant la Commission d'Examen :*

MM. TERROINE, *Président*

HACKSPILL, STAEHLING } *Examinateurs*

THÈSES

PRÉSENTÉES

à la Faculté des Sciences de l'Université de Strasbourg

POUR OBTENIR

le Titre de Docteur de l'Université de Strasbourg

Mention : SCIENCES

PAR

JEAN LOEB

Ingénieur-Chimiste I. C. S.

Licencié ès-Sciences

PREMIÈRE THÈSE

ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES DIASTASIQUES dans les farines de froment

et

Contribution à l'Etude de la Fermentation Panaire

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

Soutenues le *devant la Commission d'Examen :*

MM. TERROINE, *Président*

HACKSPILL, STAEHLING } *Examinateurs*

FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

Doyen ..... E. ROTHÉ ..... Professeur de Physique du Globe

Doyens honoraires ..... E. BATAILLON, P. TH. MULLER.

Professeurs honoraires .. H. VILLAT, GIGNOUX et FRÉCHET.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Professeurs .....

G. VALIRON .... Analyse supérieure
P. WEISS ..... Physique générale
H. OLLIVIER .... Physique générale
L. HACKSPILL .. Chimie minérale
H. GAULT..... Chimie organique
E. TOPSENT ..... Zoologie et anatomie comparée
C. HOUARD ..... Botanique
E. TERROINE ... Physiologie générale
J. de LAPARRENT Pétrographie
E. CHATTON .... Biologie générale
R. THIRY ..... Mécanique
G. CERF ..... Calcul différentiel et intégral
G. DUBOIS ..... Géologie et Patéontologie
G. RIBAUD ..... Physique expérimentale
FLAMANT ..... Mathématiques générales
E. CORNEC ..... Chimie générale
P.de BEAUCHAMP Biologie générale
L. BOUNOURE ... Zoologie
G. FOEX ..... Physique générale
H. CHERMEZON.. Botanique
G. REMPP ..... Physique du globe
R. ROMANN ..... Chimie physique et électrochimie
N. ..... Astronomie
N. ..... Physique biologique

Chargés de cours des Maîtres de conférences

G. FRIEDEL ..... Minéralogie
J. LAGARDE ..... Botanique
CH. STAEHLING . Chimie appliquée
J. LACOSTE ..... Physique du Globe
G. HUGEL ..... Chimie du pétrole
H. WEISS ..... Physico-chimie du Pétrole
H. MILLOUX .... Mathématiques
A. ROUSSEL .... Mathématiques générales
P. SOLEILLET ... Physique Mathématique
M. FAILLEBIN... Chimie appliquée
G. MIGNONAC ... Chimie organique

Secrétaire ..... G. CUVIER

Etude des Phénomènes Diastasiques

dans les farines de froment

et

Contribution à l'Etude de la Fermentation Panaire

Jean LOEB

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548014_0030

AVANT-PROPOS ET NOTIONS GÉNÉRALES

Le but principal de la panification, opération séculaire et quasi universellement répandue, consiste en la transformation de la pâte de farine lourde et compacte en une masse spongieuse et infiniment développée à laquelle, après la cuisson, on donne le nom de mie. Celle-ci par ses innombrables alvéoles offre une surface considérable à la diffusion des sucs digestifs et rend ainsi agréable la consommation des farines tirées des diverses céréales.

La meule et le pétrin constituent les principaux vestiges de panification dans les trouvailles archéologiques ; partout où il poussait du blé on faisait de la farine et du pain. Ce pain résultait toujours — abstraction faite du pain azime — de la cuisson d'une pâte levée et l'on se servait alors comme aujourd'hui encore d'une pâte aigre dénommée levain. Un premier levain était obtenu en abandonnant une pâte de consistance assez claire à la fermentation spontanée ; l'humidité de concert avec la température favorise le développement des divers microorganismes qui, vivant sur les grains, sont entraînés dans la farine par les opérations de la mouture. En conservant alors un morceau de pâte prélevé sur la grande masse en fermentation, celui-ci, mélangé convenablement à de la pâte fraîche, y provoque une nouvelle fermentation efficace. Les Israelites, durant le temps de Pâques, pendant lequel la loi leur demandait de manger du pain non levé, savaient même conserver intact leur levain en le faisant sécher moyennant quelques précautions. Le levain était alors considéré comme le porteur de la force secrète qui fait gonfler la pâte.

Il ne nous appartient pas ici d'insister davantage sur l'origine des opérations de la panification ; quant au principe

même, il est aujourd'hui ce qu'il a toujours été, seules les opérations ont subi certaines modifications apportées par la vie moderne. Il y a une vingtaine d'années le levain constituait encore le seul et unique agent porteur des microorganismes faisant fermenter la pâte. Les premières études microbiologiques amorcées par Pasteur nous ont révélé le mécanisme de la levée de la pâte de farine comme étant le résultat d'une véritable fermentation due à la présence dans le levain de diverses catégories d'êtres unicellulaires. L'observation de levains frais et vigoureux permettait cependant de constater une certaine prédominance d'un type de microorganismes classés d'après leur forme et leur travail parmi les provocateurs de la fermentation alcoolique. Nous citons ici les travaux fort complets de Boutroux sur la composition des levains de boulangerie, travaux qui datent de 1897. Aujourd'hui la fermentation panaire est considérée comme exclusivement alcoolique et pratiquée comme telle par l'emploi de plus en plus répandu de levures pures et spécialement adaptées à la fermentation panaire.

Le vieux levain résultant de la fermentation spontanée de la pâte de farine constitue par sa nature même un milieu de culture favorable au développement de nombreuses espèces microbiennes; la levure y prime mais, selon la qualité du levain et les soins du boulanger, bon nombre de germes s'y développent en même temps, ferments lactiques, parfois butyriques et acétiques. La découverte de longs filaments et mycelles de champignons n'y est même pas rare. Boutroux a résumé l'ensemble des données relatives à la flore des levains de pâte comme suit : (1)

La pâte contient normalement :

1° un certain nombre d'espèces de saccharomyces d'inégale activité fermentative, dont une ou deux sont aptes à provoquer des fermentations alcooliques vives ;

2° diverses bactéries, dont les unes, incapables de produire des fermentations avec dégagement de gaz, secrètent des diastases qui dissolvent le gluten et corrodent l'amidon, tandis que les autres peuvent, agissant sur des matières

fermentescibles appropriées, effectuer des fermentations avec dégagement de gaz ; certaines bactéries, appartenant à l'un et à l'autre groupe, engendrent des acides (acétique, lactique, butyrique).

Nous devons certainement chercher la saveur du bon pain dit « de campagne » dans l'emploi du levain, où la fermentation alcoolique est accompagnée par d'autres fermentations secondaires ou accessoires qui donnent naissance à certains produits qui agissent favorablement sur le goût et la saveur du pain. Mais malheur au boulanger qui ne soigne pas ses levains, c'est la lutte entre la levure et les bactéries et les moisissures, son pain sera aigre et sentira le moisi.

Avec le développement rationnel et scientifique des industries de fermentation commencèrent les premières tentatives de remplacement du vieux levain par des levures pures. C'est avec la levure de brasserie de fermentation haute que furent faits les premiers essais à la satisfaction presque complète de la boulangerie moderne. L'emploi de ces levures a donné lieu au travail dit « viennois » avec ses principaux avantages qui étaient la sécurité relative dans le travail puis la rapidité. Nous nous trouvons là en face d'une nouvelle méthode qui s'est introduite de plus en plus dans la grande et moyenne boulangerie des grandes agglomérations surtout. Les perfectionnements apportés aux fours (à vapeur et à buée artificielle) ont contribué à la diffusion rapide de ce nouveau genre de travail. Il se crée une méthode combinée qui consiste à travailler sur levain dans les conditions habituelles, mais la force de ce levain est de temps en temps renouvelée par l'incorporation de levure jeune et vigoureuse, opération dite de « rafraîchissement ». Le but de cette opération est de garder des levains dans lesquels la levure tient toujours la prédominance sur les autres microorganismes. Nous arrivons enfin au développement de l'industrie de levures pures spécialement adaptées à la panification, branche issue des industries de distillerie de grain. Le but principal de cette nouvelle industrie est par conséquent la production

de levure, issue d'une culture pure, avec l'alcool comme produit accessoire. Ces industries sont connues actuellement sous le nom de « levures et alcool » et préparent en forme de pains comprimés la levure nécessaire à la boulangerie d'une assez grande région dont l'étendue est néanmoins limitée par l'instabilité du produit.

L'emploi intégral de ces levures est presque chose faite actuellement. Les levains même rafraîchis sont de plus en plus abandonnés, quantité de boulangers travaillant maintenant sur « polish ». En l'espèce, c'est une sorte de levain très jeune de quelques heures. Selon la force désirée, le boulanger prépare avec environ 10 à 30 % de la farine une pâte claire additionnée de levure fraîche. Cette pâte est abandonnée à une première fermentation pendant 2 à 4 heures. Ce produit fermenté est ajouté au gros de la farine au moment du pétrissage et provoque le démarrage plus rapide et plus intense de la fermentation principale. La polish est donc refaite tous les jours. Cette façon de faire a ses justes raisons principalement dans le démarrage rapide de la fermentation, son apport en produits semi-digérés qui la favorisent et qui agissent aussi par leurs propriétés physico-chimiques sur la stabilité de la pâte. Certaines farines à faible gluten, par exemple, ayant tendance à donner des pâtes fragiles profitent particulièrement de ce genre de travail.

Les tendances actuelles vont enfin de plus en plus vers la simplification des opérations. La boulangerie moderne abandonne levain et polish, opérations préliminaires qui prennent du temps, en faveur du travail dit « direct ». Celui-ci consiste à mélanger intégralement dans le pétrin farine, eau, sel et levure. L'ensemble des opérations est ainsi réduit au minimum de 4 heures environ. Notons déjà que toutes les farines ne se prêtent pas indifféremment à ce travail rapide et nous verrons plus loin quelles sont les qualités principales nécessaires pour la panification rapide. Nous estimons que pour des raisons d'ordre social surtout — main d'œuvre, règlementation du travail, etc. — le travail direct est appelé à remplacer sous peu les méthodes anciennes et

empiriques. En Autriche, en Allemagne et surtout en Angleterre et en Amérique du Nord le travail direct est à peu près le seul usité aujourd'hui y ayant conquis les faveurs plus rapidement que chez nous. Cela tient à une question d'usage surtout, croyons-nous, pays dans lesquels le pain n'est pas mangé à la main comme chez nous. Le pain cuit en moule est découpé en tranches minces et sert de support. La mie pour ne pas laisser passer la confiture devra être plutôt serrée et régulière. Dans ces pays on ne mangerait pas du pain sans rien dessus, alors qu'en France on achève agréablement le repas avec un morceau de bon pain, savoureux et léger, où les gros trous sont l'indice d'une bonne fermentation. Nos pains façonnés dits de « fantaisie » demandent certes plus de temps et de soins que le pain au moule où la qualité de la farine sera moins de rigueur, le moule faisant en cas de besoin office de support ou de béquille. L'adaptation du travail direct à la panification française exige comme condition principale l'emploi de farines répondant par leurs qualités à la fois aux conditions nécessaires au travail rapide du direct ainsi qu'à la préparation de notre type de pain. Le travail direct n'est au fond autre chose que le point de départ de l'industrialisation des opérations de la panification. A titre d'exemple nous citons la plus grande boulangerie viennoise d'une capacité journalière d'environ 1.200 quintaux et qui ne mérite certainement plus son nom, la majorité de la main d'œuvre jadis nécessaire ayant cédé sa place à l'automaticité presque complète depuis le pétrin jusqu'à la sortie du four. Le travail direct est certes celui qui offre le plus de sécurité, le nombre des inconnus et l'ensemble des opérations étant réduits au strict minimum ; il sera sans doute sous peu de temps le seul mode de panification des peuples civilisés.

Au point de vue contrôle de laboratoire, le travail direct est le seul qui permette d'étudier de façon scientifiquement satisfaisante la qualité boulangère. On n'est pas encore arrivé jusqu'ici à avoir une méthode standard universellement adoptée, aussi l'interprétation des résultats peut différer d'un pays à l'autre. Pour préparer la pâte on prend certes toujours

de la farine, de l'eau, du sel et de la levure — voire même parfois du lait chez les Américains — mais pour une même quantité de farine la quantité de sel et de levure varie la plupart du temps dans de fortes proportions. Quant à la température de fermentation, celle-ci est souvent choisie on pourrait dire arbitrairement. A première vue cela peut paraître une hérésie, mais en regardant de près on verra que la diversité des méthodes de contrôle s'accorde et varie avec les goûts des divers peuples. Le rôle du sel, par exemple, est considérable, il peut suivant son emploi modifier très sensiblement et la plasticité de la farine et la rapidité de la fermentation. Il en résulte donc, et les meuniers ne le savent que trop bien, qu'une même farine considérée comme parfaite par certains boulangers sera par d'autres l'objet de critiques. Nous aurons l'occasion de nous étendre là-dessus plus longuement lors de la discussion sur une appréciation de qualité émanant d'une personnalité du monde scientifique moderne qui fait autorité. Celle-ci, lors d'une étude sur la valeur boulangère a situé l'optimum du gonflement panaire à pH 5. Nous n'avons pas été les seuls à critiquer ses conclusions à l'appui de nombreuses preuves apportées qui démontrent que cet optimum est plutôt localisé à pH 6, le pH 5 se trouvant en dehors de la zone des farines panifiables. Des erreurs de mesure n'entrant pas en ligne de compte, on devra s'expliquer cette différence de vues par la diversité des modes de panification d'un pays à l'autre. L'évolution enfin de la grande meunerie contribue à son tour à simplifier les opérations de la boulangerie par la production de farines de plus en plus régulières qui se prêtent aisément au travail direct. L'uniformisation du matériel moderne de meunerie vers un seul type rapproche de plus en plus les diagrammes de mouture les uns des autres. Quant à l'approvisionnement, la grande industrie meunière doit chercher obligatoirement les blés dans un rayon presque illimité, l'emploi dans la mouture de blés canadiens, sud-américains, indiens ou australiens est devenu chose courante, même dans les moulins de capacité moyenne. Tout cela, de concert avec la concurrence intercontinentale, contribue à uniformiser la

farine type courant et tend déjà à effacer le caractère local ou régional et des farines et des procédés de panification.

Nous avons pensé bien faire en situant en avant-propos ces quelques notions préliminaires pour fixer les tendances actuelles de la panification et les conditions qui les ont orientées vers un mode simple et rationnel mieux adapté à la vie sociale et économique de notre génération. Ce premier exposé nous aura aussi familiarisé avec certains termes de métier sur lesquels nous n'aurons plus besoin d'insister plus loin le long de notre étude.

De la provenance du sucre nécessaire à la fermentation panaire

Il est admis sans réserve que pour faire du pain il suffit de préparer une pâte à laquelle on ajoute de la levure pour la faire lever sans se préoccuper autrement de la provenance du sucre nécessaire à la fermentation. Les pâtes de pain sont faites sans adjonction de sucre et dans les conditions habituelles et à peu près normales elles lèvent ; on devra donc admettre par la simple observation du phénomène que la cellule de levure, l'élément moteur, trouve dans la farine l'énergie fermentative nécessaire en qualité et en quantité suffisantes. La farine est constituée principalement par de l'amidon ; en la goûtant sur la langue on ne lui découvre pas la saveur qui peut faire présumer l'existence de produits sucrés. Il est vrai que la fermentation panaire ne doit pas exiger des proportions considérables de sucre et le peu qui en soit nécessaire peut se dissimuler ou échapper dans la masse à une évaluation grossière et quelque peu superficielle. Mais alors on devrait prévoir obligatoirement un arrêt de la fermentation avec l'épuisement de cette réserve sucrée. En réalité il n'en est pas ainsi car même au-delà de la durée ordinaire de la fermentation panaire la pâte continue à fermenter. Après un examen plus attentif du phénomène, on devra donc admettre

que la farine, moyennant certaines propriétés, crée et fournit à la levure une partie du sucre tout le long de la phase fermentative. Cette dernière réflexion nous amène donc dans le vif du sujet que nous nous sommes proposé d'étudier dans tous ses détails. La question de la saccharification diastasique des farines nous a préoccupé depuis fort longtemps et nous l'avons toujours considérée comme un point obscur dans l'évaluation de la valeur boulangère d'une farine. Il a été écrit beaucoup à ce sujet depuis ces dernières années, mais vu l'absence de données précises sur la question, il nous a semblé utile de l'étudier dans tous ses détails. En lisant les appréciations des divers auteurs, l'importance des propriétés diastasiques pour l'évaluation de la qualité d'une farine est considérable d'après les uns, capitale pour les autres ; quant à leur ordre de grandeur, celui-ci était, à l'unanimité, susceptible de varier dans de fortes limites. Personnellement nous n'avions jamais douté de leur existence d'ailleurs indispensable, le peu de sucre généralement présent dans une farine étant à lui seul insuffisant à entretenir une fermentation convenable.

Dans un ouvrage, paru récemment et intitulé « Mehl-Chemie », son auteur, Karl Mohs, dans le chapitre sur la fermentation panaire, dit en ces termes : (2)

« ... que l'eau ajoutée à la farine fait gonfler les molécules de diastase qui agissent sur les globules d'amidon en les dégradant, provoquant une formation régulière et continue de grandes quantités de maltose. »

Notre étude nous permettra de nous documenter sur l'ampleur réelle du phénomène, à savoir ce que Mohs entend sous le terme de « grandes quantités ». Il y a longtemps déjà que Boutroux a montré qu'il ne fallait à la levure que relativement peu de sucre pour faire lever la pâte.

Les méthodes de détermination du « Pouvoir diastasique » des farines panifiables préconisées ou plutôt adoptées jusqu'ici et que nous n'avons pas l'intention de vouloir critiquer, si nous considérons leur véritable rôle dans les industries pour lesquelles elles ont été établies, donnaient lieu aussi à de multiples objections et doutes pour l'interprétation de la valeur

fermentative d'une farine. Ces méthodes empruntées la plupart à l'industrie brassicole ne répondent en rien aux conditions habituelles de la fermentation panaire, ni par leur mode de saccharification préconisé en faisant agir un extrait de farine (préparé dans des conditions plus ou moins bien définies) sur de l'amidon transformé préalablement en empois, ni par le choix d'une température de saccharification jamais atteinte pendant la fermentation panaire. Nous verrons que la saccharification diastasique est de nature très complexe et dépend de divers facteurs propres à une farine et de sa composition en général. Dans les méthodes usitées jusqu'ici on mesurait généralement la quantité de maltose produit par un extrait de farine agissant sur un empois d'amidon quelconque. Les indications pour la préparation des extraits sont généralement assez vagues : digestion pendant X heures au frais, filtration, etc... Quand enfin à la saccharification de l'empois, il va de soi que cette façon de faire est tout à fait à rejeter, les diastases étant obligées d'opérer la saccharification en boulangerie non sur un empois mais sur des globules d'amidon cru. Voici à titre d'exemple la copie textuelle de la méthode dite de Lintner pour la détermination du P. D. des farines : (22)

On verse sur 25 gr. de farine 500 cm³ d'eau. Après un repos de 6 heures, durant lequel on aura agité fréquemment, on filtre. On placè dans 10 tubes à essai 10 cm³ d'une solution d'amidon à 2 %. On ajoute dans les tubes 0,1 à 1 cm³ de l'extrait de farine. Après 1 heure de repos on ajoute dans chaque tube 5 cm³ de liqueur de Fehling en plaçant l'ensemble dans de l'eau à l'ébullition pendant 10 minutes. La réduction complète dans le verre au Fehling complètement décoloré indique la valeur diastasique de la farine, qui est pour :

0,1	cm³	d'extrait	complètement	réduit	de.... 100
0,2	»	»	»	»	de.... 50
0,3	»	»	»	»	de.... 33

Nous aurons l'occasion de parler de la structure très variable des diverses espèces de blés durs et tendres ; leur amidon ne présente pas la même solidité, or aucune de ces

méthodes ne tient compte de ce facteur. Ces méthodes étaient donc par leur principe même insuffisantes à nous donner des indications très exactes sur la valeur fermentative d'une farine. Nous prétendons en outre que l'évaluation même exacte du pouvoir saccharifiant ne suffit pas à elle seule à exprimer en totalité la valeur fermentative ou le P. D. d'une farine, qui, en réalité ,devra représenter l'ensemble des phénomènes autolytiques tendant à la désagrégation des substances hydrocarbonées, azotées et grasses.

Anatomie et composition du grain de blé

Une revue très rapide de l'anatomie et de la composition chimique du grain de blé nous permettra de nous rendre compte de la composition de la farine telle qu'elle nous est présentée par les procédés de mouture moderne ; elle nous fixera aussi sur la provenance des divers ferments qu'on y rencontre et sur leur nature. Nous empruntons cette étude aux ouvrages d'Aimé Girard, Lindet et Boutroux. (3) (1) Les parties principales qui composent le grain de blé sont :

1° le germe avec l'embryon,

2° l'ensemble des membranes extérieures formant l'enveloppe,

3° l'albumen ou endosperme c.-à-d. l'amande farineuse.

Le germe : Il représente en moyenne 1,43 % du poids total du grain. Le contenu des cellules est fortement coloré en jaune ; la masse est parsemée d'une multitude de gouttelettes huileuses d'un aspect non homogène. Les cellules sont remplies d'une matière azotée, peu résistante aux réactifs chimiques, et mélangée de matière grasse — à indice d'iode très élevé — qui rancit facilement. Il y a aussi dans le germe des principes hydrocarbonés solubles, dextrines et sucres, et divers sels minéraux parmi lesquels les phosphates occupent la plus large place. Le germe est enfin le siège principal des

divers phénomènes diastasiques qui se manifestent pendant la période de germination. La proportion moyenne d'azote dans le germe est de 6,84 %, représentant environ 42,75 % de substances azotées. La matière grasse y est en raison de 12,5 % ; les cendres font 5,3 % avec 2/3 de phosphates solubles de potassium et sodium et 1/3 de phosphates de chaux et de magnésie.

L'enveloppe : L'étude d'une coupe au microscope permet de reconnaître plusieurs membranes ; elles sont au nombre de 5 environ et comprennent 3 groupes dénommés :

Péricarpe	31,00 %
Tégument séminal	7,69 %
Bande hyaline et assise protéïque	61,31 %

L'ensemble des enveloppes représente en moyenne 14,36 % du poids du grain. Les premières couches n'adhèrent que plus ou moins solidement et sont en partie éliminées par les opérations du nettoyage qui précèdent la mouture. Les couches centrales et l'assise protéïque formée par un chapelet de grandes cellules dites aussi « d'aleurone » adhèrent plus solidement à l'albumen et ne peuvent être séparées quantitativement par les appareils de meunerie. Celles-ci forment, avec une proportion plus ou moins grande de farine adhérente, ce qu'on appelle le son. Ces enveloppes sont constituées par des produits de nature ligno-cellulosique, des produits azotés et des sels minéraux en proportion assez élevée. La plus grande partie de l'azote est localisée dans les grosses cellules à aleurone; le groupe central contient aussi des matières grasses.

L'albumen : ou amande farineuse comprend environ 84,21 % du poids du grain. Théoriquement c'est la seule partie du grain de blé qui devrait nous intéresser dans l'étude des farines. C'est cette partie amylacée que l'on cherche à extraire le plus complètement possible tout en écartant autant qu'on le peut les parties périphériques pour des raisons de non-digestibilité surtout (voir les travaux récents de Rubner à ce sujet). Mais la meunerie ne possède pas encore à l'heure

actuelle l'outillage nécessaire à éliminer la totalité des débris périphériques qui peuvent souiller une farine par leur proportion plus ou moins élevée. Notons cependant que ces proportions sont actuellement très faibles, mais c'est précisément la difficulté d'une séparation parfaite de l'amande farineuse des produits périphériques qui, suivant la nature des blés, pose une limite théoriquement incomplète au taux d'extraction ou au rendement meunier en farine.

Les principaux constituants de l'amande farineuse sont l'amidon et le gluten. La quantité de gluten sec trouvé dans les farines peut varier entre 7 et 13 % environ. Le gluten, considéré aujourd'hui comme un mélange de gluténine et de gliadine, forme une sorte de réseau dans lequel sont enchâssés les globules d'amidon. C'est au gluten qu'il faut attribuer principalement la plasticité des pâtes. En étudiant une coupe microscopique du grain dans laquelle le réseau glutineux a été mis en liberté par dissolution de l'amidon, on constatera que ce réseau est plus serré dans ses parties périphériques, fait bien connu en meunerie, sachant que les farines de cœur ne sont généralement pas les plus glutineuses. Corrélativement, on remarquera aussi que les grains d'amidon situés à la périphérie de l'albumen sont bien plus petits (1/109 à 1/150 mm) que les globules situés au centre qui peuvent atteindre des dimensions de 1/40 de mm. Notons encore la présence dans l'albumen de traces de cellulose, de substances hydrocarbonées solubles, grasses et de sels minéraux.

La mouture du blé

Connaissant maintenant très sommairement l'anatomie et la composition chimique du grain de blé, nous pouvons passer en revue très rapidement les principales opérations auxquelles est soumis le grain de blé par la meunerie moderne en vue de l'extraction aussi complète que possible de la farine. Cette dernière étude nous sera aussi précieuse et indispensable que

la précédente, car elle nous donnera enfin en main tous les éléments de raisonnement et de discussion nécessaires à notre étude.

Avant sa mouture, le blé est soumis préalablement aux diverses opérations de nettoyage qui ont comme but d'éliminer d'une part, par triage, toutes les graines étrangères qui accompagnent le blé, voire le seigle, l'avoine, l'orge, le maïs, les vesces, etc... D'autre part, on enlève la terre, les poussières et nombreux champignons et moisissures adhérant à la surface du grain. Ces opérations se font dans des appareils à brosses rotatives munis de ventilation et qui enlèvent aussi des parties d'enveloppes extérieures de faible adhérence. Suivant la nature des blés, on les soumet aux opérations du lavage qui garantissent une plus grande propreté de la farine et rendent les pellicules de son plus souples et ainsi moins friables à l'action déchiquetante des broyeurs. Le lavage est suivi obligatoirement du séchage et du conditionnement pour ramener le blé au taux d'humidité le plus favorable à sa mouture.

La mouture proprement dite comprend deux phases principales qui sont le « broyage» et le « convertissage ». La meule, engin séculaire de désagrégation, a pratiquement cédé sa place aux cylindres. La mouture du blé n'est pas une opération de pulvérisation ordinaire, la dislocation devant être progressive pour éviter principalement un dégagement excessif de chaleur mécanique préjudiciable à l'obtention d'un produit de qualité. Les cylindres broyeurs possèdent des cannelures à arêtes vives et ont comme but principal de casser le grain en morceaux pour mettre à nu l'amande farineuse. Dans cette première opération du broyage on évite dans la mesure du possible la production de quantités sensibles de farine pour des raisons que nous connaîtrons tout à l'heure. Chaque passage de broyage fournit un mélange de nombreux *produits* qui, suivant leur nature, leur qualité et leur finesse, sont séparés et judicieusement classés pour être soumis séparément aux opérations ultérieures. Les produits de broyage se composent :

1° de sons plus ou moins dépourvus de farine, et selon

leur finesse on les dénomme gros sons, fins sons, bâtards, recoupettes, etc...

2° de particules d'amande farineuse dénommées « semoules », qui sont séparées et classées suivant leurs dimensions en grosses, moyennes et fines semoules et en gros, moyens et fins finots.

3° de quelques % de farine, la production de produits farineux étant impossible à supprimer tout à fait.

La séparation de ces 3 groupes avec leurs nombreux sous-groupes se fait par tamisage, et après chaque passage sur les cylindres, dans des appareils dénommés suivant leur principe bluterie héxagonale ou à pans et bluterie plane. La bluterie plane, de plus en plus employée maintenant, est constituée par superposition de plusieurs tamis à ouvertures de plus en plus fines du haut vers le bas. Les tamis à mailles très ouvertes sont métalliques et comportent environ 16 mailles au cm^2, les tamis les plus fins pous le tamisage des produits farineux sont en soie et comportent 3.500 mailles environ en cm^2. L'amande farineuse est de nature plus friable que l'ensemble des enveloppes du grain qui forment le son. Celui-ci possède plutôt une certaine élasticité et cède ainsi dans une certaine mesure à l'action déchiquetante des broyeurs. Pour arriver au curage complet des sons plusieurs passages aux cylindres sont nécessaires, opérations qui appartiennent exclusivement aux broyeurs, leur écartement et la profondeur des cannelures diminuant au fur et à mesure que progresse l'épuisement en farine. Avec le passage aux brosses se termine le traitement définitif des sons. L'élimination du germe de blé se fait également au cours du broyage.

Nous arrivons maintenant à la 2e phase de la mouture qui comprend la conversion en farine de la presque totalité de l'amande recueillie par les opérations de broyage sous forme de semoules. Pourquoi cette tendance de la meunerie moderne à faire préalablement de la semoule ? Un rapide coup d'œil jeté sur ces produits recueillis après blutage nous fera immédiatement remarquer que ces produits quoique de dimensions uniformes, ne présentent pas moins l'aspect hété-

rogène dû à la présence de nombreuses particules teintées de nature périphérique. Ce produit brut taché de particules de sons est dénommé « semoule vêtue ». Le broyage, aussi ménagé qu'il soit, produit inévitablement une certaine proportion d'enveloppe plus ou moins finement déchiquetée, particules qui chemineront avec les semoules à travers les divers tamis lors de leur classement dans les bluteries. Or, l'expérience a démontré qu'il est pratiquement impossible d'éliminer de la farine ces particules d'enveloppe une fois pulvérisées. La semoule se prête plus facilement à l'épuration qui est basée sur la différence de densité des deux produits. Dans des appareils dits « sasseurs » on arrive à les séparer de façon très satisfaisante ; la semoule brute les traverse en couche mince, y rencontre une légère dépression qui aspire et élimine ainsi la particule d'enveloppe spécifiquement plus légère. Les semoules ainsi dévêtues subissent enfin l'opération du convertissage qui se fait intégralement sur cylindres lisses. Les premières farines de convertissage sont sans doute les plus pures et correspondent à la partie centrale de l'amande. Au fur et à mesure que la conversion progresse vers l'achèvement de la mouture on constatera que la nuance générale des produits augmente d'intensité quittant le jaune crème des belles farines vers le brun. Il réapparaît en queue de mouture l'ensemble des produits touchant et se confondant avec les parties périphériques. Les farines de ces derniers passages sont foncées et dénommées « basses » ; leur teinte et leur richesse en principes non assimilables par l'homme les rendent impropres à la panification et les font passer avec les sons dans les issues sous le nom de remoulages, etc... La mouture fournit donc 3 sortes de produits farineux dits de tête, de cœur et de queue. La meunerie moderne évite dans la mesure du possible la production de produits de tête, ceux-ci étant plutôt comme les produits de queue de qualité inférieure, et le type marchand de farine résulte surtout d'un triage judicieux parmi ces produits extrêmes. De ce triage dépendra pour une part sérieuse la qualité boulangère et marchande de la farine.

Composition générale des farines panifiables

Nous pouvons maintenant nous rendre compte définitivement de la composition générale des farines. Physiquement un farine est constituée par un mélange de particules d'albumen plus ou moins fines. Sous le microscope on reconnaît ces particules comme étant des agglomérats de globules d'amidon maintenus les uns aux autres par le réseau glutineux. L'état de finesse de la farine dépend d'une part de la conduite du travail au moulin et d'autre part de la nature des blés. Les blés tendres s'éffritent assez facilement sous la pression des cylindres, d'autres plus coriaces et plus élastiques opposent une résistance plus considérable à leur désagrégation. De l'état de finesse dépend en partie la qualité d'une farine et l'on distingue au simple toucher toute une gamme allant depuis les farines « rondes » aux farines « plates ». Les farines rondes sont de beaucoup les préférées donnant des pâtes plus maniables, alors que les farines plates donnent des pâtes qui manifestent le plus souvent des tendances à couler. Nous avons fait de nombreux essais qui ont démontré de la façon la plus nette l'augmentation de la fluidité des pâtes en fonction de la finesse. Les farines contiennent comme impuretés une proportion variable de débris d'enveloppe et de germe, poussières organiques et minérales. Leur quantité dépend de la nature des blés et de leur nettoyage, des soins apportés à la mouture, de l'équipement du moulin et du taux d'extraction. Selon leur proportion elles peuvent agir sur la blancheur et par leurs propriétés physico-chimiques et enzymatiques sur la qualité boulangère et la conservation de la farine. Cet ensemble de produits communique aux farines la composition chimique que voici :

L'amidon : Les globules d'amidon constituent, en raison de 68 % environ, la partie principale de la farine. Les dimensions des globules varient selon les espèces de blé et leur localisation dans l'amande. On connaît actuellement encore

peu sur leur constitution physique et chimique exacte. Morphologiquement il est cependait aisé de les distinguer au microscope des globules d'autres graines amylacées (maïs, riz). Les farines contiennent aussi une certaine proportion d'hydrates de carbone solubles : sucres, dextrines et gommes ; ces produits existent en partie dans l'amande même mais ils sont introduits aussi dans les farines par les impuretés périphériques.

Les substances azotées : Les globules d'amidon sont enchâssés dans le réseau glutineux, la principale substance azotée de l'albumen qui par sa capacité d'hydratation communique à la pâte sa cohésion et son élasticité. On admet aujourd'hui que le gluten est constitué par la gliadine et la gluténine et, d'après Koopmann, la gluténine est dispersée sous forme de poussières dans la gliadine. Son degré de dispersion déterminerait la qualité du gluten, alors que Fleurent attribuait sa qualité à leur évaluation quantitative par le simple rapport des deux constituants. Les farines contiennent aussi des proportions variables de principes azotés solubles existant en partie dans l'amande mais provenant aussi de l'enveloppe et du germe. D'après Osborne, l'amande contient une globuline et une albumine (coef. = 5,7). Les parties périphériques apportent aux farines une albumine, une globuline et une prolamine (coef. = 6,31. Les composés azotés du germe sont de l'albumine 10 %, de la globuline 5 % et des protéoses environ 30 % (coef. moyen = 5,80).

La cellulose : Elle provient principalement des particules d'enveloppe et se trouve en proportion de 0,5 % au maximum dans les farines.

Les matières grasses et les substances lipoïdiques se rencontrent en proportion variable suivant le taux d'extraction et l'outillage du moulin. Le germe et les parties périphériques sont le siège principal des substances grasses. Ce sont des produits huileux qui rancissent facilement, principale raison pour laquelle on évite l'introduction dans la farine des germes. Cette propriété mise à part, il a été démontré par de

nombreux essais que la présence de matières grasses et lipoïdiques agit plutôt favorablement sur le développement du pain. Leur teneur dans les farines peut varier de 1 à 4 % suivant le taux d'extraction pratiqué. Les sons en contiennent 4 à 5 %, le germe 12 % environ (Koopmann) (4). D'après Neumann, la teneur en lécithine du blé est de 0,65 %, celle du germe de 1,55 %, accompagnée d'une partie non saponifiable de 0,5 %. D'après les récentes recherches d'Osborne, l'extrait gras brut des farines contient des matières grasses neutres, des acides gras, des phosphatides, des phytostérines, des éthers phytostériques et des matières colorantes. Les farines de queue, riches en produits périphériques, contiennent une plus forte proportion de matières grasses et lipoïdiques que les farines de cœur. Arbenz trouve par exemple dans les sons environ 5 %, dans la farine entière 0,5 % et dans les farines de faible taux d'extraction 0,2 % de phytine. Seidel a démontré aussi que l'amande farineuse ne contient que très peu de matières grasses (0,3 %) et que la majorité des substances grasses extraites des farines livrées au commerce y est entrée par les opérations de la mouture au cours de laquelle les produits riches en matières grasses sont constamment en contact et malaxés avec les produits farineux; sous la pression des cylindres ceux-ci cèdent de leurs matières grasses à la farine. Quant aux pigments, le principal est la carotine qui communique aux farines pures leur aspect jaune-crème.

Les sels minéraux : Les constituants minéraux semblent être combinés en grande partie à la partie organique et de ce fait la composition générale des cendres et le rapport entre eux ne varie que dans de très faibles limites. Quant à leur quantité, la teneur des farines en cendres dépend essentiellement du nettoyage des blés et du taux d'extraction. Les principaux constituants des cendres de farine sont le phosphore, la chaux, la magnésie et la potasse accompagnés de traces de sodium, de fer, de silice et de soufre. Le grain de blé contient, d'après Koopmann (5), en moyenne 2 % de cendres principalement localisées dans les enveloppes, dans l'assise protéïque et dans le germe ; l'albumen est pauvre en sels et

contient environ 0,68 %, chiffre plutôt trop élevé provenant de l'assise protéïque qui ne peut être séparée convenablement de l'amande. Les farines de cœur contiennent environ 0,3 %. Ces deux valeurs représentent les chiffres extrêmes entre lesquels oscillent généralement les teneurs des farines livrées au commerce. Sur la totalité des cendres 50 % environ viennent à P^2O^5 et 30 % à K^2O; environ 12 % de MgO et 2 à 6 % de CaO. On sait fort peu de la forme exacte sous laquelle ces éléments se trouvent dans les farines, mais il est à peu près certain que la presque totalité se trouve liée à la partie organique. Au contact de la farine avec l'eau, il y a hydrolyse par action enzymatique avec libération de la partie minérale, phénomène qui peut être démontré par les mesures de conductibilité électrique par exemple. Au cours de cette hydrolyse il y a libération du phosphore principalement aux dépens de la phytine, des phosphatides, des acides nucléïniques, de l'assise protéïque et de l'amylopectine.

L'influence de la partie minérale sur la plasticité des pâtes ainsi que sur la fermentation est incontestable ; la libération plus ou moins poussée des phosphates primaires et secondaires peut entraîner des changements dans la réaction du milieu. Il est ainsi connu que les farines les plus pures, donc très pauvres en sels, ne sont pas les meilleures au point de vue fermentatif. Les sels minéraux, les phosphates principalement, avec les substances azotées et l'acide carbonique de fermentation, communiquent à la pâte des propriétés tampons très considérables qui s'opposent très énergiquement à tout changement brutal de la réaction du milieu; ce phénomène est surtout prononcé dans les farines basses très minéralisées.

Cet examen rapide nous a fait connaître la farine comme un produit très complexe dans lequel quelques-uns des constituants agissent sur la plasticité de la pâte alors que les autres déterminent sa qualité fermentative. La valeur boulangère est donc représentée par l'ensemble de ces facteurs.

Etude physiologique du grain de blé

Avant de commencer notre étude directe sur les farines, les observations faites sur les céréales soit en période de formation soit en période de germination nous présentent quelque utilité et nous expliquent à priori l'origine des phénomènes enzymatiques rencontrés dans les farines.

Le germe constitue la partie vivante du grain d'où sont émis les ferments en période de germination pour digérer et transformer en forme circulante l'énergie nécessaire à la croissance de la jeune plante en tant qu'il n'y a pas assimilation chlorophyllienne. En malterie et en distillerie le grain est mis à germer pour enrichir l'albumen en diastases et le digérer partiellement. Les extraits de malt possèdent la propriété de transformer l'amidon en sucres fermentescibles, du maltose principalement. Cette activité est due à la présence dans les extraits de l'amylase douée de propriétés amylolytiques et saccharifiantes. Dans le grain de blé l'action amylolytique en période germinative devra être précédée de l'action de la cytase dissolvant les membranes cellulosiques qui séparent le germe de l'albumen. Pour répondre à la question de provenance des diastases, à savoir si elles ne se forment qu'au moment de la germination ou si elles existent dans le grain à d'autres moments, il y a lieu d'étudier les 3 périodes par lesquelles passe le grain de blé :

période de formation du grain,
période de repos du grain mûr,
période de germination.

La cytase existe en abondance pendant la formation de l'embryon et disparaît pendant la maturation ; mais dans les conditions ordinaires de végétation, la maturation n'est jamais complète et il reste toujours une quantité plus ou moins grande de cytase qui persiste dans le grain en période de repos. L'amylase existe aussi pendant cette même période et disparaît

incomplètement pendant la maturation, mais la petite quantité d'amylase qui subsiste dans les graines mûres pendant la période de repos ne paraît pas être de même nature que celle qui est secrétée pendant la germination. La formation de l'embryon se ferait par l'action d'une diastase produite dans les cellules parenchymateuses de l'albumen et c'est le résidu non employé de cette diastase qui subsiste dans la graine mûre non germée. Par contre les diastases de germination sont secrétées par l'embryon. A cette diversité d'origine des deux amylases correspondraient, d'après certains chercheurs, certaines différences de propriétés chimiques. La diastase de formation destinée à solubiliser la réserve d'un parenchyme jeune serait moins active que la diastase de germination destinée à solubiliser l'albumen mûr. D'après Brown et Morris, la première ne saccharifie que l'amidon soluble et ne posséderait aucun pouvoir de liquéfier la pâte, ne pouvant corroder les grains d'amidon cru. La seconde, au contraire, désagrège complètement l'amidon cru. Par conséquent le grain mûr non germé contiendrait une petite quantité de cytase et d'amylase peu active.

Dans le grain mûr au repos il n'y a d'après les mêmes auteurs pas de sucre réducteur alors qu'il en existe dans les graines en voie de formation. Cependant, d'après Dehérain et O'Sullivan, le grain de blé contient un peu de saccharose ; Schultze et S. Frankfurt y ont trouvé aussi du raffinose localisé dans le germe principalement. D'où ce saccharose ? L'étude biologique de la plante au point de vue saccharogénie faite par Leplay, Girard, Brown et Morris, montre que chez les graminées il se forme au début de la végétation du sucre réducteur. Au moment de l'apparition des organes de reproduction la proportion de saccharose augmente considérablement. Ce sucre s'accumule dans la tige jusqu'au moment de la formation de l'amidon dans la graine. A partir de ce moment il passe dans l'épi puis dans les graines, où il est localisé presque entièrement dans l'embryon. Là il disparaît progressivement, à mesure que l'amidon s'accumule dans l'albumen. Le saccharose est donc la matière génératrice de l'amidon et

inversement pendant la germination, à mesure que l'amidon disparaît, il se forme principalement du maltose. On peut représenter le cycle saccharogène par le schéma suivant :

$$\text{Saccharose} \xrightarrow[\text{en formation}]{\text{grain}} \textit{Grain mûr} \xrightarrow[\text{en germination}]{\text{grain}} \text{Maltose}$$

L'état du blé tel qu'il est présenté à la meunerie dépend beaucoup des conditions climatériques pendant la période végétative et de maturation ainsi qu'au moment de la récolte ; sa stabilité dépend de sa teneur en humidité et des conditions de conservation. Il n'est pas rare de trouver après une année humide des lots de blé contenant des proportions variables de grains plus ou moins germés, et toute instabilité due à la nature du blé ou à de mauvaises conditions de conservation se traduit par une tendance du grain de l'état léthargique vers le stade de la germination, et celà généralement sans que le phénomène soit directement visible à l'œil. L'humidité de nos blés indigènes est généralement plutôt élevée et il s'en faut de peu qu'ils ne manifestent une certaine instabilité causant parfois bien des inquiétudes aux meuniers. On comprend aisément que dans les blés plus secs les réactions enzymatiques se font bien plus difficilement, la rareté de l'eau rendant toute circulation impossible à l'intérieur du grain. Nous avons eu l'occasion de faire ces constatations sur les blés de la campagne 1926 et 1927, particulièrement humides, comparés aux blés de la campagne 1928 où la maturation était précédée d'une longue période de forte chaleur et de sécheresse ; nous reviendrons sur cette question plus loin.

PREMIERE PARTIE

Mise en évidence des phénomènes diastasiques dans les farines

Nous allons consacrer maintenant notre première étude à mettre en évidence d'abord l'existence dans les farines de phénomènes diastasiques, puis nous examinerons les divers facteurs qui sont susceptibles de les modifier. Notre étude porte exclusivement sur les phénomènes de saccharification. Nous essayerons d'appliquer au cas des diastases des farines les lois générales qui régissent les catalyseurs, influence de la température, du temps, de la concentration et de la réaction du milieu. Une fois fixés sur les diverses conditions qui régissent le phénomène, nous élaborerons une méthode pratique de détermination du « pouvoir diastasique ». Celle-ci devra dans la mesure du possible se rapprocher — contrairement aux vieilles méthodes usitées — des conditions des opérations de la panification.

Si l'on prépare une suspension aqueuse de farine constituée par exemple de 20 gr. de farine et 100 cm^3 d'au à la température de 20° C, on constate que le filtrat clair réduit la liqueur de Fehling. Cette réduction est due à la présence dans l'extrait de sucres qui ont pu préexister dans la farine ou qui se sont formés par autodigestion ; comme nature de sucre il ne peut s'agir que du glucose ou du maltose. En évaluant, d'après la méthode de dosage des sucres de Bertrand, en cm^3 de permanganate le cuivre réduit, 25 cm^3 de l'extrait

d'une macération de farine d'une heure demandent par exemple 7,50 cm^3 alors qu'une macération d'une durée de 6 heures demande 13,60 cm^3 de $KMnO^4$. La quantité de sucre a donc pratiquement doublé, et il est évident que ce surplus de sucre ne peut être que d'origine enzymatique.

Voici quelques valeurs en cm^3 de $KMnO^4$ relevées sur des farines de composition et de provenance diverses :

Durée de la macération	1 heure	6 heures
Farine N° 1.....	6.6	14.2
» N° 2.....	7.4	13.6
» N° 3.....	7.6	13.5
» N° 4.....	7.9	13.3
» N° 5.....	8.2	14.2
» N° 6.....	7.7	14.9
» N° 7.....	6.8	12.9

L'humidité de ces farines oscille entre 14,5 et 16 %. Les écarts de valeurs d'une farine à l'autre doivent être attribués certainement à la nature des blés mais dans une certaine mesure aussi à l'absence de toute précaution prise ici pour arrêter rigoureusement l'action des diastases ,les filtrations étant plus ou moins longues, leur durée était susceptible de modifier les valeurs absolues. Ces quelques détails mis à part, il résulte toutefois de l'ensemble de ces essais qu'il y a eu formation de sucre par amylolyse et l'essai aux ozazones le révèle comme étant surtout du maltose. Nous avons fait une autre série d'essais mais en opérant non plus sur une suspension mais sur une pâte de farine de consistance normale (65 % d'eau), maintenue à température constante dans une chambre humide : 20 gr. de pâte sont remis en suspension avec un même volume d'eau dans chaque cas ; dosage du sucre sur 25 cm^3 de liqueur exprimé en cm^3 de $KMnO^4$:

Durée	1 h.	5 h.	24 h.
Farine N° 1.....	3,54	5.49	»
» N° 2.....	3.10	5.47	9.25
» N° 3.....	2.85	5.23	»

Nous faisons donc les mêmes constatations sur les pâtes de farine et l'importance du phénomène semble être du même ordre de grandeur. A la suite de ces essais nous tirons notre première conclusion à savoir que de la farine mise en contact avec de l'eau produit du sucre fermentescible par action diastasique, la quantité de sucre dépendant de la durée de macération.

Au cours de ces premières expérimentations nous avons rencontré deux difficultés principales. La première réside dans la lenteur désespérante de filtration des macérations de farine pour la séparation des éléments solubles de la partie solide. Cela tient à la nature de l'ensemble des produits solides qui colmatent très rapidement les pores du filtre, mais aussi à la viscosité plus ou moins prononcée des extraits. Ainsi avons-nous pu constater que selon les farines et selon la durée de macération la vitesse de filtration pouvait être très variable. Le degré de viscosité, d'ailleurs, serait, d'après Ostwald et Luers (6), une indication sur la valeur d'une farine. Pour éviter des pertes de temps et pour travailler avec plus d'exactitude aussi nous avons remplacé avec succès la filtration ordinaire par la centrifugation. En employant des verres spéciaux à paroi épaisse de 150 à 175 cm^3 de capacité on arrive à faire l'ensemble des opérations dans le même récipient sans transvasement. Nous employons un centrifugeur assez robuste à double godet métallique pouvant recevoir les verres de ladite capacité. L'engin tourne à 5.000 tours environ, et après 5 à 6 minutes de centrifugation la totalité de la farine est précipitée au fond du verre après lequel elle adhère si solidement qu'on peut transvaser jusqu'à la dernière goutte le liquide clair sur-

nageant. En examinant ces extraits au microscope on cherchera vainement une particule d'amidon si petite soit-elle.

Dans nos essais sur pâtes nous avons trouvé une autre difficulté qui réside dans la remise en suspension convenable de la pâte pour séparer les principes solubles de la partie solide. Dans une pâte de consistance moyenne le réseau glutineux résiste à sa dislocation. En triturant la pâte avec de l'eau, au lieu d'aboutir à une suspension fine et homogène, le gluten se sépare petit à petit de l'amidon en grumeaux plus ou moins gros. Le gluten possède des propriétés d'hydratation et d'adsorption très prononcées et il est impossible de lessiver ou d'épuiser complètement ces grumeaux pour les débarrasser des principes solubles. D'autre part la préparation d'une pâte en si faible quantité n'est pas aisée ; en malaxant la farine avec l'eau pour faire la pâte, il adhère inévitablement après les parois du verre une certaine quantité qui, selon la durée des opérations, dessèche assez rapidement et échappe par conséquent aux réactions qui se passent au sein de la masse humide. Cela constitue incontestablement une source d'erreurs pour les évaluations quantitatives d'abord et ne permet pas de reproduire avec exactitude un même essai. En opérant par contre sur une suspension, il n'y a pas pratiquement de farine qui adhère aux parois, la totalité de la substance participant à la réaction. La concentration farine et eau n'est certes plus la même en valeur absolue mais en opérant toujours sur une suspension de même concentration, la comparaison d'une farine à l'autre fournira toujours des différences en valeur relative. Dans une étude spéciale, nous examinerons les variations de l'intensité des phénomènes diastasiques en fonction de la concentration en vue de l'établissement d'un coefficient qui nous permettra de convertir approximativement les valeurs relatives des suspensions en valeurs réelles sur pâtes.

Pour nos premiers essais nous n'avons pris aucune précaution spéciale au sujet des facteurs qui peuvent agir sur la saccharification diastasique ; nous avions certes pris soin de faire les essais dans des conditions à peu près analogues, mais pour l'étude quantitative du phénomène en vue de l'éla-

boration d'une méthode de détermination du « pouvoir diastasique », nous devons examiner les divers facteurs un par un. Nous avons déjà dit que cette méthode devra se rapprocher le plus possible des conditions normales de la fermentation panaire.

Nous allons définir dès maintenant le pouvoir diastasique (P. D.), celui-ci devra être représenté par la quantité de sucre formé :

a) au détriment du propre amidon de la farine à étudier,

b) à une température bien définie (+27° C), représentant la moyenne des températures auxquelles on soumet généralement les pâtes à la fermentation panaire,

c) pendant un laps de temps qui correspond, dans les grandes lignes, à l'ensemble des opérations qui précèdent la cuisson,

d) dans un milieu de réaction normale et habituelle (pH = ± 6).

En principe cette mesure devrait se faire sur une pâte de consistance moyenne, mais nous venons de donner les raisons pour lesquelles nous avons dû abandonner l'essai sur pâtes en faveur de la suspension. La méthode consistera donc à mesurer dans des conditions bien définies le sucre néoformé ce qui exige naturellement un dosage préalable du sucre qui préexiste déjà dans les farines.

Etude d'un mode pratique d'arrêt de la saccharification

Une des premières questions qui nous préoccupe dès maintenant est celle de la suppression pratique des actions diastasiques pour pouvoir doser le sucre qui peut préexister dans une farine. Il nous faudra trouver pour cela un mode d'expérimentation permettant de travailler avec une garantie suffisante à l'abri des phénomènes diastasiques et sans modifier sensiblement la nature des diverses substances qui com-

posent la farine. Nous basant sur les connaissances des ferments et leurs propriétés, nous allons choisir ou un agent chimique ou un mode purement physique nous permettant d'arrêter à volonté la saccharification. Le réactif couramment employé est la soude que l'on ajoute généralement jusqu'à concurrence d'une réaction franchement alcaline, sachant que les milieux fortement basiques détruisent les diastases. D'autre part on sait aussi que la saccharification diastasique est fonction de la température ; elle est très faible à basse température, augmente avec elle pour être finalement détruite par l'ébullition. Nous réunissons ainsi 3 facteurs parmi lesquels nous choisirons celui qui s'appropriera le mieux à notre cas particulier. Nous allons étudier l'action de la soude sur une suspension de farine, l'action de la basse et de la haute température.

Il est bon aussi de fixer dès à présent les meilleures conditions de travail que nous adopterons définitivement dans la suite de nos travaux. Quelle est la quantité de farine qui nous permettra de travailler avec une exactitude suffisante à tout point de vue ? Nous avons déjà vu d'après les premiers essais que le sucre diastasique ne représente que des valeurs peu considérables ; il y a donc lieu de choisir la farine en quantité suffisante pour réduire les erreurs d'expérimentation dans les limites admises d'abord, puis pour pouvoir travailler dans les conditions exigées par la méthode de Bertrand pour le dosage des sucres ; cette méthode nous semble en effet la plus qualifiée pour doser du sucre dans un milieu aussi complexe qu'est un extrait de farine. La méthode polarimétrique s'est déjà montrée comme imprécise à l'étude de traces de sucre dans un milieu qui contient en outre d'autres substances amylacées et azotées douées parfois aussi de propriétés actives sur la lumière polarisée.

La quantité de farine à utiliser ne devra pas non plus être choisie trop considérable pour ne pas devenir encombrante au long des opérations. Profitant de notre expérience pour d'autres nature d'essais et pour standardiser aussi dans la mesure du possible l'ensemble des essais ayant trait à l'étude enzymatique

des farines, nous avons adopté le poids de farine égal à 20 gr. de substance sèche. Nous avons jugé qu'une quantité de 10 gr. était absolument insuffisante, nos études ultérieures le prouveront assez souvent. En employant un poids évalué en substance sèche nous voulons tenir compte des différences d'humidité pouvant exister d'une farine à l'autre. L'examen de la valeur diastasique sera donc obligatoirement précédé d'un dosage d'humidité (à 105° C jusqu'à poids constant) pour connaître la quantité exacte de farine humide à peser, correspondant à 20 gr. de substance sèche. Le volume d'eau distillée dans lequel sera mise en suspension la farine devra être de 100 cm^3 exactement au moment de la prise d'essai pour le dosage du sucre. Celui-ci ne pouvant être réalisé convenablement que par pesée, et en tenant compte aussi de l'évaporation plus ou moins considérable suivant la durée de la digestion, la suspension sera préparée d'abord avec un volume d'eau un peu inférieur au volume exact. Le volume définitif sera fait sur la balance en ajoutant de l'eau goutte à goutte, la quantité d'eau de la farine devant former avec l'eau de suspension le poids de 99,74 gr. égal à 100 cm^3 à + 20° C, température à laquelle nous ramenons nos suspensions avant dosage. Cette façon de faire nous permettra de rapporter les résultats au poids de farine qui seront exprimés en pour-cents par simple multiplication par 5. Le récipient qui reçoit d'abord la farine est un verre à parois très épaisses de 150 à 175 cm^3 de capacité. N'ayant pu trouver des verres suffisamment solides, même spécialement faits pour cet usage, nous en avons fait faire en verre Pyrex de 2 $^m/_m$ d'épaisseur qui résistent à la force centrifuge. Le verre qui reçoit la farine est préalablement taré avec un thermomètre contrôlé qui sert aussi d'agitateur. La farine, après pesée, est placée dans le verre et tassée au fond en couche régulière en tapotant le verre contre la table. On place d'autre part dans un cylindre gradué 100 cm^3 d'eau distillée portée préalablement à une température comprise entre 29 et 31° C environ. Du cylindre, on verse avec précaution 30 à 35 cm^3 dans le verre contenant la farine tassée, en ayant soin de superposer l'eau à celle-ci. On prend l'heure exacte au

moment de mélanger les deux pour faire d'abord une bouillie épaisse. Il est indispensable de préparer d'abord cette bouillie avec peu d'eau, car si l'on en ajoutait de trop dès le début, il serait impossible de réduire convenablement les grumeaux, chose absolument nécessaire à l'obtention d'une suspension homogène. La bouillie est diluée petit à petit, l'ensemble de l'eau versée ne devant pas dépasser 75 cm^3 environ. Il y a lieu aussi de ne pas agiter trop violemment pour éviter que de notables parties de farine puissent se coller aux parois au-dessus du niveau de la suspension. En consultant le thermomètre-agitateur on verra que la température de la suspension sera de 27° C environ, température à laquelle nous allons tenir dorénavant nos macérations de farine. Quant au choix de cette température, nous en donnerons plus loin la raison. Avec un peu d'habitude, on réalisera très facilement cette mise en suspension, opération qui prend 3 à 4 minutes environ. La suspension ainsi préparée on couvre le verre avec un verre de montre muni d'un trou au milieu pour le passage du thermomètre qui séjournera pendant toute la durée des essais dans la suspension. On agite fréquemment en contrôlant chaque fois la température qui devra rester à 27°. Nous n'avons pas trouvé de difficulté sérieuse pour le maintien de cette température. Les étuves type courant ne s'y prêtent guère, d'autant plus qu'il faut agiter de temps en temps ; mais il se trouvera dans chaque laboratoire un endroit, entre une étuve et un coin de mur par exemple, propice au maintien de cette température. Nous opérons ainsi avec une parfaite exactitude. Avant de procéder au dosage, il suffit de rectifier sur la balance le volume définitif en ajoutant de l'eau. A 20° C et en tenant compte de la perte par centrifugation (environ 0,15 gr.) on place sur la balance en plus de la tare (= verre + thermomètre) 119,90 gr. dont 20 gr. représentent le poids de la farine substance sèche. Cette correction est très suffisante pour rapporter les résultats au poids de la farine. On agite encore pour bien homogénéiser, puis on place le verre sans transvasement préalable dans le centrifugeur. Après 6 minutes de centrifugation on procède au dosage du sucre sur une partie aliquote de la liqueur.

Ayant maintenant fixé notre façon d'opérer, nous allons essayer de trouver un procédé pratique pour supprimer la saccharification diastasique nécessaire au dosage du sucre qui préexiste dans la farine. Nous allons nous adresser d'abord à la soude qui est généralement employée pour arrêter la saccharification enzymatique. L'étude du minimum de soude nécessaire à l'arrêt du phénomène s'impose davantage dans notre cas particulier, la soude, comme nous le verrons, ayant la propriété de mettre en dissolution une partie du gluten. Les liqueurs, après centrifugation, au lieu d'être bien limpides sont plus ou moins opaques et surchargées d'azote qui ne facilite en rien les dosages de sucre. Les extraits basiques bouillent très difficilement en soubresauts et moussent abondamment ; les filtrations enfin sont très pénibles. Les méthodes courantes de défécation n'apportent guère de remède non plus que la neutralisation préalable de la soude par les acides, le gluten étant également soluble en partie dans leurs sels neutres soit NaCl, soit Na^2SO^4 par exemple. Nous avons néanmoins entrepris quelques essais en nous servant de la soude comme agent d'arrêt de la saccharification. Nous avons choisi comme concentration une solution de NaOH n/5 que nous avons ajoutée en quantité variable à la suspension après un certain temps de macération et mesuré le sucre formé. Ainsi devions-nous arriver obligatoirement à un minimum de soude nécessaire à partir duquel les valeurs de sucre obtenues devaient rester constantes.

Les conditions de travail choisies étaient les suivantes : on préparera une suspension de farine dans les conditions énoncées plus haut, maintenue pendant 1 heure très exactement à 27° C. Il existera donc au bout de cette heure une certaine quantité de sucre provenant d'une part du sucre qui peut préexister et d'autre part du sucre néoformé par amylolyse. En ajoutant au bout de cette heure de la soude et en maintenant alors encore la macération pendant 5 heures consécutives à la même température, la quantité de soude à partir de laquelle les valeurs de sucre présenteront un palier, représentera la quantité minimum à partir de laquelle il n'y

aura plus action diastasique. En résumé, nous maintenons d'abord pendant 1 heure à 27° la suspension dans les conditions ordinaires, au bout de cette heure nous lui ajouterons 1, 3, 6, 9 cm³ de soude n/5 en maintenant encore la suspension pendant 5 heures à la même température. Rectification du volume et dosage, les résultats étant rapportés à 100 gr. de farine-substance sèche :

sans soude	1 cm³	3 cm³	6 cm³	9 cm³
2.90	2.6	1.8	1.49	1.51

Avec 6 cm³ de NaOH n/5 nous atteignons déjà le palier, l'alcalinité réalisée étant suffisante pour arrêter complètement la saccharification diastasique. Avec 1 et 3 cm³ de soude celle-ci est ralentie mais pas encore arrêtée. Les valeurs obtenues avec 6 et 9 cm³ démontrent qu'à partir d'une certaine alcalinité il y a arrêt absolu du phénomène dès l'instant de l'adjonction du réactif, et ces résultats représentent l'ensemble du sucre préexistant et néoformé au bout de 1 heure de saccharification. A la suite de ces essais nous possédons donc un moyen pour arrêter avec un minimum de soude la saccharification, et en ajoutant celle-ci en raison de 6 cm³ par exemple dès le début de la mise en suspension, nous pouvons doser le sucre qui préexiste dans les farines. Nous avons cependant déjà fait allusion à l'action dissolvante de la soude sur le gluten. Dans nos essais avec 1 et 3 cm³ ce phénomène n'était pas encore très gênant, mais il devient considérable avec 6 et surtout avec 9 cm³. La gluténine du gluten est soluble, d'après Osborne (7), dans les solutions faiblement alcalines ou acides ; les propriétés du gluten étant ainsi profondément modifiées, il passe partiellement en dissolution sous forme colloïdale. Pour la facilité des opérations et leur exactitude nous avons pensé procéder à la défécation préalable des liqueurs basiques avant dosage. La neutralisation par les acides sulfurique et chlorhydrique ne provoque aucune précipitation des matières azotées en dissolution ; la coagulation par la chaleur est fort incomplète et entraîne obligatoirement, par les diverses opérations, à des dilutions trop considérables pour le peu de sucre qu'on

y veut doser. Mêmes objections pour la défécation habituelle aux sels de plomb, de mercure ou de tungstène, avec lesquels la précipitation est incomplète et exige également la dilution des liqueurs.

N'ayant pu trouver de moyen satisfaisant pour clarifier ces extraits nous avons songé, pour pouvoir réduire la quantité de soude à 3 cm³, à l'emploi simultané de la basse température. La solubilité du gluten avec 3 cm³ de NaOH n/5 est en effet moins considérable et nous avons pensé que si l'abaissement de la température de saccharification agissait dans le même sens, il était ainsi possible d'aboutir au même résultat tout en opérant sur des extraits plus maniables. C'est ainsi que nous avons pu reproduire sur la même farine la quantité de sucre total de 1,50 gr., en ajoutant au bout de 1 heure de saccharification à 27° 3 cm³ de NaOH n/5 au lieu de 6 cm³ et en abaissant la température de la macération à +6° pendant 5 heures encore. Les extraits obtenus dans ces conditions étaient moins opaques, se prêtant plus facilement au dosage du sucre. Nous avons donc essayé d'appliquer cette méthode combinée au dosage des sucres réducteurs pouvant préexister dans les farines. Voici comment nous procédons : la farine est d'abord mise en suspension comme d'habitude mais dans l'eau froide, et cela fait, on ajoute aussitôt 3 cm³ de soude, l'ensemble étant maintenu à +5°5 (température de l'eau de la conduite en hiver) pendant 1 heure et avec un autre essai pendant 5 heures. D'autre part on prépare une suspension sans soude maintenue pendant 5 heures à la même température également :

durée 1 heure avec 3 cm³ de NaOH n/5 ...	0,65 gr. de sucre
» 5 » » » » ...	0,66 »
» 5 » sans soude.....	1,22 »

Les deux premiers essais montrent que l'action combinée de la soude et de la basse température ont suffi pour supprimer l'action diastasique, alors que le dernier essai prouve que l'emploi de la basse température seule est aussi insuffisante que l'emploi seul de 3 cm³ de soude démontré plus haut. Les

0,65 gr. représentent donc la quantité de sucre préexistant dans la farine, à condition que durant l'opération de la mise en suspension, qui prend généralement 3 à 4 minutes, la formation de sucre diastasique soit négligeable.

Etude de l'influence du pH sur la saccharification diastasique

Cette étude nous a paru intéressante à la suite de nos observations faites avec la soude en quantité variable, la régression successive des valeurs de sucre avec l'augmentation de la concentration en soude devant à notre avis être liée plus généralement aux phénomènes de variation de la réaction du milieu, variation de la concentration en ions « H » ou pH.

L'importance de ce facteur est reconnue comme étant de premier ordre pour quantité de réactions en chimie et en biologie surtout. Nous croyons que les phénomènes enzymatiques doivent être particulièrement sensibles aux variations de la réaction du milieu. Nous allons donc d'abord commencer avec l'étude systématique des phénomènes diastasiques tout le long de l'échelle des pH.

Toute substance, susceptible de se mettre en dissolution plus ou moins parfaite, présente selon sa constitution et son état de dissolution un certain degré d'ionisation qui peut être évalué par différentes mesures et qui est représenté maintenant par la notion classique du pH. L'eau pure a son propre pH qui est de 7,07 représentant la neutralité absolue. Cette valeur est cependant très instable, des traces de gaz ou de sels pouvant le modifier très sensiblement. Les dissolutions d'acides et de bases présentent des pH de valeurs plus ou moins élevées et variables selon leur nature chimique et leur concentration. Les mélanges avec leurs sels tendent à stabiliser leur réaction propre, propriété connue sous le nom de « tampon ». Les constituants de la matière vivante, de composition généralement très complexe, possèdent également une réaction propre douée d'une stabilité tout à fait particulière. Certains parmi

eux constituent avec leurs propriétés tampon remarquables de véritables régulateurs opposant une résistance acharnée à tout changement excessif de la réaction qui pourrait se produire par une anomalie quelconque. Les matières protéïques constituent, de par leur composition, des substances douées de propriétés tampon, leur nature amphotérique étant déterminée par leur double fonction « acide-aminée ». Le phosphore, en combinaison organique, est susceptible aussi de définir la réaction d'un milieu selon ses liaisons sous forme primaire ou secondaire. La farine possède en quantité suffisante les uns et les autres, leur ensemble lui communiquant son pH. Nous allons insister d'abord sur la façon de mesurer le pH des farines (8).

Pour mesurer le pH d'une farine, il suffit de préparer un extrait aqueux dans les conditions telles que nous les avons décrites. On emploiera de préférence de l'eau froide, et les extraits provenant d'une macération de 20 gr. de farine dans 100 cm^3 d'eau pendant ½ heure sont absolument limpides et se prêtent ainsi à n'importe quel genre de mesure électrique ou colorimétrique. Si certains extraits devaient être trop visqueux ou légèrement opaques et colorés, on les diluera préalablement avec 5 ou 10 fois leur volume d'eau distillée sans risque de faire varier, par la dilution, la réaction du milieu. Le pH d'un extrait aqueux de farine fraîche et tirée à un taux normal est de 6.10 en moyenne avec 5.95 et 6.25 comme limite inférieure et supérieure. Il est très rare de trouver des farines de taux d'extraction ordinaire à pH plus bas ou plus élevé. Des valeurs de pH plus basses, comprises entre 5.80 et 5 par exemple, indiquent sans exception que les farines ont subi des altérations profondes à la suite de mauvaises conditions de conservation ou provenant déjà de blés avariés. Des valeurs de pH trop élevées, par contre, indiquent plus généralement un taux d'extraction trop élevé, les bas produits de la mouture, très riches en parties périphériques, ayant des pH supérieurs au pH moyen des farines de taux d'extraction normal. Nous avons rencontré jusqu'ici 3 farines avariées — cas plutôt rare — où le pH était de 6.40 à 7.10 au lieu de se

trouver entre 5 et 6 comme d'habitude. Dans ces cas particuliers, l'avarie était telle qu'elle avait déjà donné lieu à une véritable décomposition, fermentation ammoniacale qui avait petit à petit déplacé la valeur du pH en dehors et au-delà de la zone-type des farines avariées. Nous reviendrons plus loin sur cette question.

Voici à titre d'indication un tableau du Koopmann (9) qui montre la variation du pH des farines en fonction de la teneur en cendres. La teneur des farines en cendres est fonction du taux d'extraction, les parties périphériques du grain étant particulièrement riches en sels minéraux :

Teneur en cendres	0.40	0.49	0.53	0.67	0.77	1.02	1.58
pH	6.00	6.15	6,20	6.25	6.35	6.40	6.45
Teneur en cendres	0.37	0.45	0.56	0.66	0.71	0.92	1.20
pH	5.97	6.15	6.30	6.35	6.40	6.45	6.45

L'étude des phénomènes diastasiques en fonction du pH a présenté pour nous un double intérêt, à savoir d'abord quel est le pH optimum de saccharification, et à voir ensuite si cet optimum se rapproche ou se couvre avec le pH optimum qui communique le maximum de plasticité à la pâte de farine. Dans une autre étude très complète nous avons démontré que la plasticité des pâtes de farine dépend également de la réaction du milieu avec un pH optimum de 6 environ. Cette étude nous fera connaître aussi le pH à partir duquel la saccharification diastasique se trouve arrêtée.

Voici maintenant notre façon d'expérimenter. Nous opérons sur une farine de taux d'extraction normal ; mise en suspension d'une quantité de farine égale à 20 gr. de substance sèche comme d'habitude, température de saccharification +27° C. Chaque essai comprend deux phases; dans la première la suspension, préparée toujours avec de l'eau distillée, est maintenue pendant une heure très exactement dans les conditions habituelles. La farine aura donc produit au bout de cette première heure une certaine quantité de sucre réducteur qui, avec le préexistant, représente une valeur bien déterminée. Cette quantité représentera notre valeur de départ qui sera

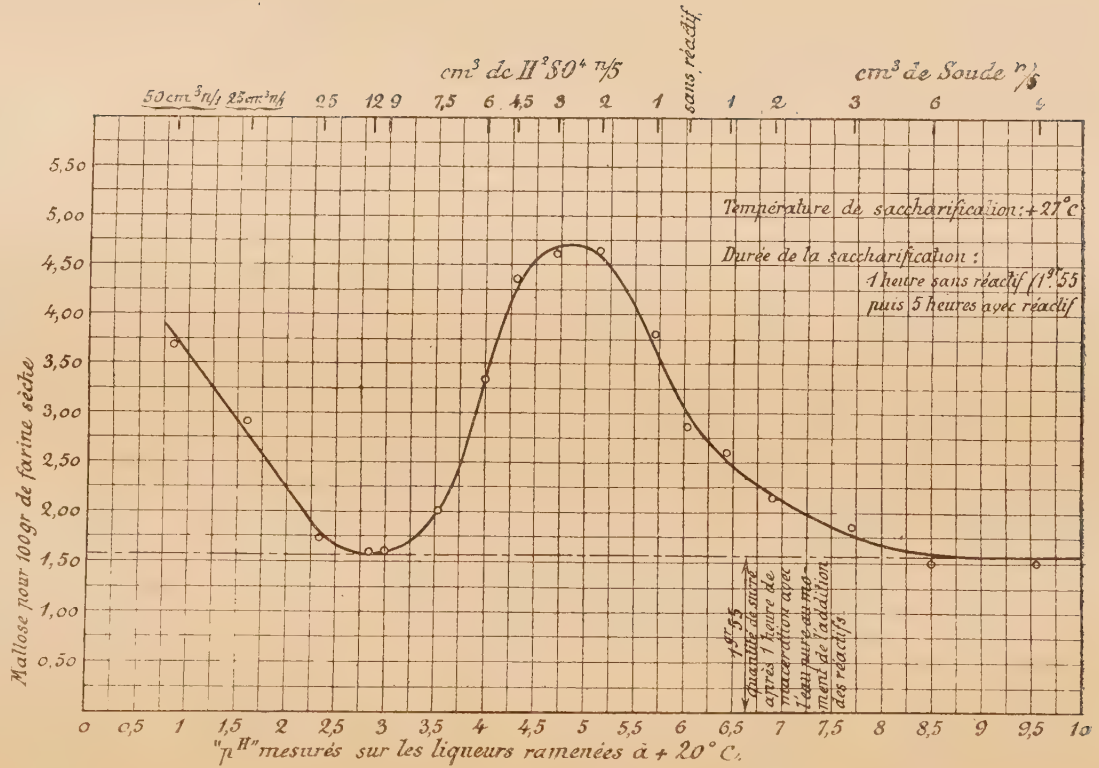
donc toujours la même pour tous les essais. Vient la 2e phase. Au bout de la première heure de digestion nous ajoutons des quantités variables ou de soude ou d'acide sulfurique n/5 pour faire varier instantanément la réaction du milieu et en maintenant encore pendant 5 heures la suspension à la même température. Durée totale de la digestion : 1 heure sans réactif puis 5 heures avec réactif soit 6 heures en tout. Rectification du volume par pesée, centrifugation et dosage du sucre réducteur sur une partie aliquote, les résultats étant ramenés à 100 gr. de farine substance sèche. Sur une autre partie de la liqueur nous déterminons le pH par la méthode colorimétrique aux indicateurs mono et polychromes. Au cours de cette longue expérimentation nous avons vérifié à plusieurs reprises la quantité de sucre formée au bout de une heure sans réactif — notre valeur de départ — qui s'était maintenue absolument constante. Cette valeur était 1.56 et 1.556 gr. et à trois semaines d'intervalle nous retrouvions 1.563 et 1.557 gr. Notons aussi l'essai sans réactif du tout, où la suspension a été maintenue pendant toute la durée de 6 heures dans son milieu d'acidité propre de pH 6.05. Nous avons refait tous les essais deux fois à titre de contrôle, les résultats obtenus sont réunis dans le tableau ci-dessous : (10)

pH	9.55	8.50	7.70	6.90	6.40	6.05	5.70	5.15	4.70
Maltose %	1.50	1.49	1.85	2.13	2.60	2.85	3.80	4.64	4.60
pH	4.30	4.00	3.55	3.00	2.85	2.35	1.60	0.85	
Maltose %	4.35	3.33	2.00	1.59	1.58	1.72	2.89	3.66	

La courbe originale en V du graphique N° 1 de la page 16 est établie d'après les valeurs moyennes du tableau ci-dessus.

Il n'avait pas été dans notre intention de pousser cette étude jusque dans la zone des fortes acidités mais nous y avons été entraînés au fur et à mesure des résultats obtenus qui, à première vue, paraissent plutôt hétéroclytes. Et cependant l'examen attentif révèle une régularité absolue et parfaite d'une valeur à l'autre. Nous avions admis à priori et prévu un fléchissement de la saccharification diastasique avec l'aug-

Gr. Maltose	pH
1,50	9,55
1,49	8,50
1,85	2,13
2,13	6,90
2,60	6,4-6,45
2.85	6,0-6,05
3,80	5,70
4.64	5,15
4,60	4,70
4,35	4,30
3.33	4.00
2.00	3,5-3,55
1,59	3,0
1,58	2,85
1,72	2,35
2,89	1,60
3,66	0,85



Etude de l'influence du « pH » sur le Pouvoir diastasique des Farines de Froment

mentation du pH pour marquer un point d'arrêt définitif à partir d'une certaine valeur dans la zone basique. Nous nous attendions aussi à une certaine amplification du phénomène avec l'augmentation de l'acidité du milieu dûe au concours apporté par les ions H qui, aux fortes concentrations, sont susceptibles à eux seuls de réaliser la saccharification hydrolytique (voir la saccharification de l'amidon par les acides minéraux). En commençant cette étude, nous avions pensé qu'il devait exister une certaine continuité dans l'allure de la saccharification, diastasique d'abord et purement acide enfin. Il était en effet facile de prévoir une destruction successive des diastases avec l'augmentation de l'acidité, la saccharification étant opérée au fur et à mesure par les ions H constamment en croissance. Nous avons failli établir — avec trop d'empressement — la loi d'après laquelle la saccharification serait inversement proportionnelle au pH. L'étude complète nous a appris tout à fait autre chose, et un simple coup d'œil sur notre courbe démontre d'abord l'existence d'un sommet qui correspond au maximum de saccharification à pH 5 environ. La chute est rapide sur les deux versants, mais se termine en pente douce du côté alcalin pour toucher définitivement sa valeur de départ à pH 8.5 environ. Etudions maintenant l'allure surprenante de l'autre partie de la courbe qui nous révèle l'existence en zone franchement acide d'un 2e point d'arrêt de la saccharification. La branche de courbe de ce côté du sommet descend très rapidement pour revenir à notre valeur de départ à pH 3 et pour reprendre son ascension dans la région des fortes acidités. Nous n'avons pas à faire ici à un zéro absolu mais passager, constituant le point d'arrêt définitif de la saccharification diastasique, celle-ci étant reprise alors exclusivement par les ions H de l'acide mis en jeu. On devra donc conclure que les ions H en faible concentration agissent d'abord dans le sens favorable sur la saccharification purement diastasique, faisant rôle d'activateurs. Cette activation est telle que pour un pH de 5, représentant le maximum, l'intensité de la saccharification est plus que doublée (3.25 gr. de maltose à pH 5 contre 1.50 gr. à pH

6.05). Au-delà de ce maximum, l'augmentation en ions H agit en sens contraire provoquant un effet ralentisseur ; la diastase est affaiblie puis complètement détruite à une concentration correspondant à pH 3. Aux acidités, enfin, de pH 3 vers O nous assistons à la saccharification purement acide qui est rapide à chaud et très sensible à notre température d'expérimentation de 27°.

Notre étude a été confirmée depuis par les travaux de Legendre sur la conservation des céréales et des issues en fonction de la réaction du milieu. (11)

De cette étude originale il nous est permis de tirer plusieurs conclusions pratiques. Au point de vue analytique l'existence de deux zéros marquant l'arrêt des phénomènes diastasiques nous permettra de compléter notre étude d'une méthode de dosage des sucres diastasiques. En effet, connaissant maintenant les conditions d'arrêt ou de suppression des phénomènes diastasiques, on n'aura plus à chercher par tatonnement, suivant la quantité de farine employée, le minimum de réactif nécessaire, mais on saura d'une façon tout à fait générale qu'à pH 8.5 et pH 3 il n'y a plus amylolyse. Dans notre cas particulier en opérant sur 20 gr. de substance sèche il suffit donc, pour arrêter la réaction, d'ajouter ou 6 cm^3 de soude ou 10 cm^3 d'acide sulfurique n/5.

Nous connaissons déjà les difficulté qu'on rencontre en voulant profiter du zéro alcalin pour détruire les diastases de la farine. D'après l'étude des pH, il faut ajouter un minimum de 6 cm^3 de soude à notre suspension pour réaliser pH 8.50. Le peu de réactif basique, de quelque nature qu'il soit, suffit pour mettre en dissolution une quantité appréciable de matière azotée. Celle-ci, en passant dans le centrifugat, lui communique une viscosité et une opacité telle que la liqueur se prête mal au dosage du sucre par le Fehling. Nous n'avons pu trouver de moyen satisfaisant pour déféquer ces liqueurs, ni aux sels de mercure, de plomb et de tungstène ni par la neutralisation préalable par la soude ou la potasse, certaines substances azotées de la farine étant également solubles dans les sels neutres correspondants. L'emploi d'une

méthode combinée utilisant très peu de soude et maintenant la suspension à basse température a l'inconvénient d'exiger une glacière. Cela complique naturellement et rend la méthode inaccessible à quantité de petits laboratoires industriels.

Profitant donc de l'existence du point d'arrêt en zone acide, nous avons dirigé nos recherches de ce côté. En ajoutant à nos suspensions de farine 10 cm^3 d'acide sulfurique n/5, nous ramenons la réaction à pH 3 avec destruction des diastases. Quand on soumet alors la suspension à la centrifugation on constate que la liqueur qui surnage n'est nas limpide non plus sans toutefois être aussi opaque que les extraits basiques. L'ébullition des extraits acides au Fehling est pénible aussi et la filtration très lente. Nous rencontrons donc ici les mêmes difficultés qu'avec la soude : pas de défécation convenable aux sels des métaux lourds, pas de précipitation des substances azotées par neutralisation de l'acide. Ici encore nous avons essayé toutes sortes de subterfuges qui ne nous ont satisfait qu'à moitié. Ayant choisi comme acidifiant l'acide sulfurique, nous avons eu enfin une dernière idée qui s'est révélée comme étant parfaite et qui consiste à neutraliser l'acide sulfurique avant centrifugation avec de la baryte pour éliminer ainsi du champ d'essai la totalité du réactif sous forme insoluble. En opérant ainsi nous n'avons plus à redouter ni l'influence de l'acide ni l'influence des sels neutres solubles sur le gluten. En faisant disparaître complètement le réactif, la réaction du milieu devait obligatoirement revenir à sa valeur initiale entrainant ainsi la précipitation de l'azote qui avait pu se mettre en dissolution par l'acide. Pour nos essais nous avons choisi une dissolution concentrée de baryte titrée que nous avons ajoutée en quantité équivalente à l'acide de la suspension. En passant alors l'ensemble à la centrifugation, nous avons obtenu des extraits parfaitement limpides qui se prêtent directement et sans difficulté aucune au dosage du sucre. Notons aussi qu'on peut aboutir au même résultat en arrêtant la saccharification en zone basique avec la baryte et en déféquant à l'acide. Cette façon de faire nous paraît cependant moins précise. En effet, pour arrêter complètement la

réaction et détruire la diastase, il faut, avant de procéder à la défécation, laisser la suspension pendant 15 minutes environ en contact soit avec l'acide soit avec la base. Si l'on emploie la baryte, celle-ci peut faiblir par carbonatation. En principe il vaut donc mieux arrêter la saccharification par l'acide sulfurique et déféquer à la baryte. Notons encore que cette façon de faire donne des résultats de beaucoup plus satisfaisants que l'emploi du tungstène comme déféquant, préconisé par certains chercheurs ; dans aucun cas nous n'avons pu constater avec le tungstate de soude une épuration plus complète des extraits de farine.

Méthode définitive pour le dosage du sucre dans les farines

Voici maintenant la méthode de travail définitive que nous avons adoptée pour le dosage du sucre dans les farines:

On place dans un verre à centrifugeur de 150 à 175 cm^3 de capacité, muni d'un thermomètre de précision comme agitateur, tarés préalablement, une quantité de farine humide égale à 20 gr. de substance sèche. Préparation de la suspension dans les conditions indiquées plus haut, le temps étant compté à partir du moment où l'on mélange intimement l'eau préalablement superposée à la farine. La quantité d'eau, la suspension préparée, ne devra pas dépasser 75 cm^3 sensiblement. Température de saccharification 27° C. On arrête la saccharification en ramenant la suspension à pH 3 avec 10 cm^3 très exactement d'acide sulfurique n/5. Après 15 minutes environ de contact avec l'acide, on ajoute à la suspension, à l'aide d'une pipette graduée en dixièmes, une solution concentrée de baryte titrée en quantié exactement nécessaire à la précipitation de l'acide ; éviter un excès de baryte. Pour connaître le titre de celle-ci, nous la contrôlons de temps en temps contre l'acide avec de la phénolphtaléïne comme indicateur ; pour notre usage cette façon de faire est suffisamment exacte à condition

de mettre la baryte dans la burette graduée et non l'acide pour éviter sa carbonatation pendant la titration.

Refroidissement de la suspension à 20°. Pour la correction par pesée du volume de la suspension, on devra tenir compte du $BaSO^4$ de défécation qui, en raison de 10 cm^3 de H^2SO^4 n/5, représente 0,23 gr. Le poids total de la suspension devra être ramené à 120,10 gr. pour réaliser à la température de 20° le volume exact de 100 cm^3.

Ce poids comprend :

99,74 gr.....	poids de 100 cm^3 d'eau à 20°.
20,00 gr.....	farine substance sèche.
0,23 gr.....	$BaSO^4$ de défécation.
0,13 gr.....	pertes par centrifugation.
120,10 gr.	

Après rectification du volume on passe à la centrifugation pendant 5 à 6 minutes ou à la filtration à travers un grand filtre à plis. Dosage du sucre sur une partie aliquote par la méthode de Bertrand; les résultats sont exprimés en grammes de maltose et rapportés à 100 gr. de farine sèche.

Cette méthode de travail a l'avantage de ne demander ni transvasement ni dilution, l'ensemble des opérations se faisant jusqu'au moment du dosage dans le même récipient. Nous voici donc enfin en possession d'une méthode sûre et pratique.

Avant d'aller plus loin, appliquons la aussi au dosage du sucre préexistant dans les farines pour fixer définitivement la façon de travailler et n'avoir plus à y revenir. Si l'on veut connaître le sucre préexistant, on devra, pour éviter toute néoformation, se mettre obligatoirement dès le début à l'abri des phénomènes diastasiques. Nous avons fait à ce sujet une petite étude pour déterminer la façon de travailler la plus exacte. Nous avons d'abord voulu nous rendre compte si la simple opération de mise en suspension, qui comprend 3 à 4 minutes, est susceptible de produire déjà des quantités appréciables de sucre, cela pour savoir s'il suffit pratiquement

d'ajouter le réactif destructeur après mise en suspension ou s'il est nécessaire dès le début.

Voici les résultats que nous avons obtenus sur 6 farines différentes :

Adjonction de l'acide	après mise en suspens.	avant
farine de l'Est	0.66	0.32
farine du Nord	0.68	0.34
farine 100 % de blés de pays	0.68	0.32
farine 100 % de blés exotiques	0.65	0.28
farine 4 % de grains germés	0.85	0.59
farine 7 % de grains germés	0.90	0.59

Tous les essais sans exception nous démontrent qu'il y a lieu d'ajouter l'acide dès le début, la faible durée de la mise en suspension suffisant déjà pour donner lieu à un commencement de saccharification. Nous remarquons aussi que toutes ces valeurs sont très basses, indiquant que généralement il n'y a que des traces de sucre réducteur préexistant dans les farines, constatation qui avait déjà été faite il y a des années par Boutroux. Nous avons d'ailleurs choisi comme farines des produits de provenance et de nature tout à fait extrêmes afin de pouvoir généraliser cette constatation. Ainsi avons-nous préparé spécialement les deux farines avec des blés contenant une telle proportion de grains germés que la meunerie ne les emploierait jamais purs. Nous voyons que même dans ces farines la teneur en sucre réducteur préexistant est faible et nous pouvons dire que c'est entre 0,20 et 0,40 % qu'il faut chercher la quantité de sucre réducteur préexistant dans les farines rencontrées dans le commence. Voici la meilleure façon de procéder à la mise en suspension en présence de l'acide. La farine est préalablement tassée par secousses en couche serrée et régulière ; on peut ainsi lui superposer les 10 cm^3 d'acide sans que les deux se mélangent puis ajouter encore environ 15 cm^3 d'eau pour avoir une quantité de liquide suffisante à la préparation de la bouillie. La suite des opérations est la même que pour les autres essais.

Nous avons vu que le pH moyen des farines saines est de 6 environ, valeur située en pleine côte sur la branche de courbe qui à pH 5 correspond au maximum de la saccharification. Le phénomène est incontestablement très sensible à la variation de la réaction pour doubler d'intensité, le pH ne variant que d'une unité. Le problème de la fermentescibilité des farines parait de ce fait résolu ; en effet, il suffirait d'acidifier convenablement une farine qui ne « marche » pas, pour l'enrichir automatiquement en sucre fermentescible. Nous ne pourrons traiter cette question qu'a la fin de notre étude théorique complète des autres facteurs qui agissent aussi sur la saccharification diastasique. Nous allons démontrer alors l'étroite relation qui existe entre le pH et la saccharification diastasique d'une part et la plasticité des pâtes de farine d'autre part.

Influence de la température sur la saccharification diastasique

Il est naturel de prévoir que les diastases des farines doivent subir l'influence des diverses températures d'une façon identique aux diastases du malt par exemple. Pour qu'il y ait germination il faut de la chaleur au grain de blé, et Boutroux a montré qu'à 0° il n'y a plus de saccharification. Dans notre première méthode mixte nous avions profité de cette constatation; notons, par exemple, qu'une farine ayant 0.29 gr. de sucre préexistant fournit après une macération de 4 heures à la température de 5,5° 1,08 gr. de maltose contre 2,52 à 27°. Nous allons donc examiner à fond la marche de la saccharification en fonction de la température. La zone de température qui nous intéresse plus directement est celle en dessous de 35°, mais nous allons quand'même pousser nos essais au delà pour pouvoir nous rendre compte de la marche générale du phénomène.

Voici comment nous avons fixé notre façon de travailler

pour cette étude. Nous préparons une suspension comme d'habitude, qui va être maintenue pendant 2 heures exactement aux diverses températures d'essai, toutes les autres conditions restant les mêmes bien entendu. La réaction est cette fois-ci arrêtée en ramenant la suspension à pH 3 et à la température de 20° ; défécation à la baryte, rectification du volume etc. Le maintien exact des diverses températures pendant 2 heures n'a pas été chose facile. Nous avons placé le verre contenant la suspension dans un bain-marie à double fond, de façon à maintenir celle-ci complètement en contact avec l'eau à température règlée. La température la plus basse, soit 6°, était obtenue par l'eau de la conduite, alimentant d'un façon continue le bain-marie. Les températures supérieures ont été réalisées en chauffant le bain dont l'eau était tenue en mouvement constant. Le verre contenant la suspension reposait sur le double fond perforé ne pouvant ainsi subir aucune surchauffe. A titre de contrôle, tous les essais ont été faits deux fois, les valeurs moyennes nous ont servi à tracer la courbe des sucres en fonction de la température (voir page 25).

Température .	6°	15°	20°	27°	35°	40°	45°
Maltose % ..	0.93	1.21	1.502	2.056	2.742	3.25	4.45
. .	0.91	1.23	1.492	1.950	2.718	3.40	4.45
Moyenne	0.92	1.22	1.497	2.000	2.730	3.32	4.45

Température	50°	55°	60°	62.5°	65°	70°
Maltose %	8.06	27.4	44.8	47.21	43.92	24.0
	7.91	27.2	45.2	46.87	43.48	23.5
Moyenne	7.98	27.3	45.0	47.04	43.70	23.75

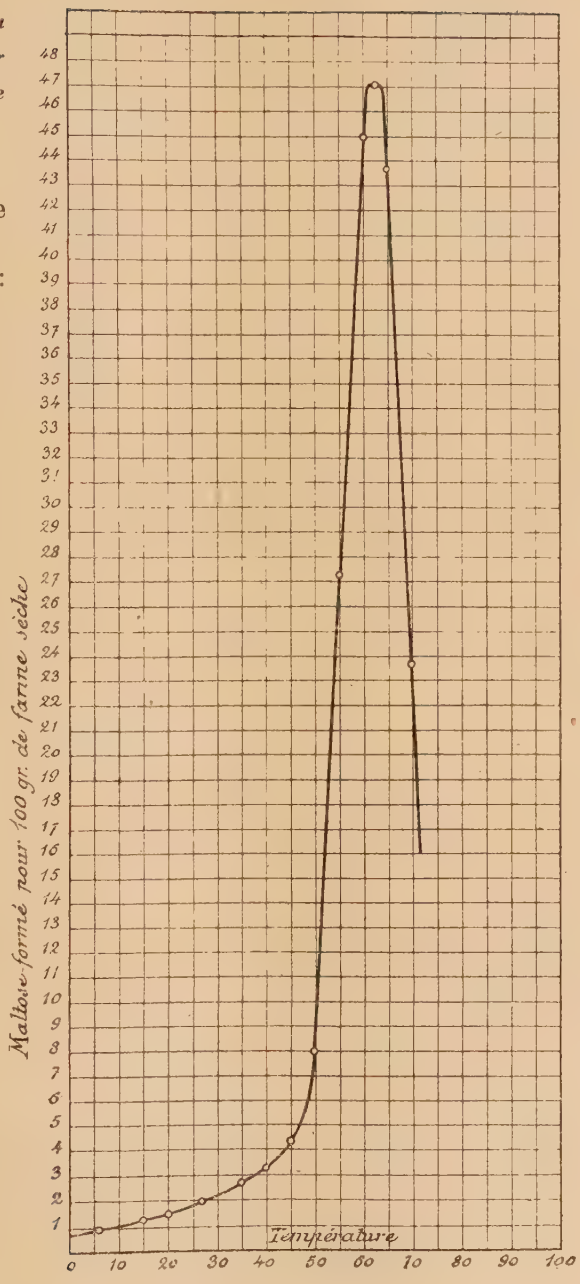
En examinant le graphique de la page 32, nous voyons que jusqu'à 45° environ la saccharification est relativement lente. Déduction faite de 0,30 % de sucre préexistant, il n'y a à 0° pratiquement pas de saccharification. Les écarts pris de 5 en 5° sont d'abord faibles alors qu'à partir de 45° la

Etude de l'Influence de la Température sur le Pouvoir diastasique des farines de Froment.

20 gr. de farine (substance sèche) dans 100cc d'eau, durée de la saccharification : 2 heures.

VALEURS EXPÉRIMENTALES

Température	Maltose formé
6°	0.92 gr.
15°	1.22
20°	1.50
27°	2.00
35°	2.73
40°	3.32
45°	4.45
50°	8.00
55°	27.32
60°	45.00
62°5	47.04
65°	43.70
70°	23.76



courbe commence une montée vertigineuse pour s'arrêter très brutalement à 62°5 et descendre avec la même rapidité. Nous avons observé très attentivement tous les changements qui peuvaient survenir aux suspensions maintenues aux diverses températures et qui expliquent l'allure du phénomène. Nous avons étudié aussi les suspensions au microscope après qu'elles avaient subi pendant 2 heures l'effet des diverses températures.

L'augmentation du sucre avec la température ne provient pas d'un enrichissement en diastases mais d'une simple activation. Selon les vues actuelles sur la question, la température mettrait la matière douée de propriétés diastasiques dans l'état optimum d'hydratation. Ce point dépassé, la température agit en sens contraire, modifie profondément la structure colloïdale soit en solubilisant soit en diminuant par coagulation les surfaces actives de ces substances. Mais nous verrons tout de suite que le ralentissement de la saccharification à basse température ne provient pas uniquement de la diminution de l'activité diastasique. La farine est constituée par de l'amidon cru en globules qui ne s'hydratent pas à basse température. Nous savons que l'amylase a beaucoup de mal à solubiliser l'amidon sous formes de globules, par contre la solubilisation est très rapide avec de l'amidon préalablement transformé en empois. De fait, la montée rapide de notre courbe à partir de 45° correspond au changement de l'état physique de l'amidon de la farine. L'étude des suspensions au microscope nous montre un commencement de corrosion des globules à partir de 40° ; à 45° on observe des canaux de pénétration bien marqués et à 50° la dislocation est presque complète. L'accès des diastases à l'intérieur des globules étant forcé à ces températures, leur jeu devient aisé et rapide. Il était très intéressant d'observer ainsi les suspensions maintenues aux diverses températures : les suspensions d'abord absolument fluides devenaient petit à petit plus visqueuses à partir de 35 à 40° pour tourner en caillot à 50 à 55°. La saccharification se poursuivant, la viscosité diminuait à nouveau au fur et à mesure de la liquéfaction de l'empois. Nous avons observé le maximum de sucre formé à 62°5 soit 47 % en

2 heures, chiffre très élevé. Au-delà de cette température la saccharification baisse aussi rapidement qu'elle avait monté, un écart de 7 à 8° faisant diminuer la quantité de sucre sensiblement de la moitié. Les dosages devenaient alors de plus en plus difficiles, l'amidon en empois se déposant mal à la centrifugation, d'où les écarts sensibles sur les essais de même nature ; ainsi à partir de 70° il ne nous était plus possible de continuer ces essais.

La température optimum de saccharification de 62°5 correspond exactement à celle observée généralement avec les farines d'autres graines amylacées et avec le malt plus particulièrement. En brasserie, par exemple, suivant la nature des bières à fabriquer, on maintient le brassin entre 60 et 65° si l'on envisage l'obtention de bières riches en alcool donc riches en sucres fermentescibles et plus pauvres en extrait (dextrines), alors qu'on pratique des températures plus élevées si l'on veut faire des bières plus riches en extrait. Au-delà de 62°5 la formation de sucre est ralentie alors que l'amylolyse continue encore, mais l'ensemble des phénomènes est détruit par l'action prolongée d'une température légèrement inférieure à l'ébullition. L'allure générale du phénomène en fonction de la température est absolument identique pour les farines provenant de n'importe quel blé. Au point de vue quantitatif, on devra cependant prévoir, aux basses températures au moins, des variations quelque peu sensibles dûes à la nature même des diverses espèces de blé. Si l'on n'est pas encore très avancé dans les connaissances exactes de la constitution de l'amidon, quantité d'observations font supposer que l'amidon, suivant sa provenance, pourrait présenter des différences dans sa composition physique et chimique. Nous parlerons plus loin de la solidité des particules de farine suivant la nature des blés en n'insistant ici que sur les différences physiques très marquées des globules des diverses espèces des graines amylacées. Morphologiquement, un simple coup d'œil dans le microscope permet de distinguer les globules de la pomme de terre de ceux du blé, du maïs et du riz ; la distinction entre le froment et le seigle est bien plus difficile. Physiquement ces

diverses espèces d'amidon se distinguent par leur plus ou moins grande solidité qui s'oppose à la dislocation, certaines cèdent à l'ébullition, d'autres demandent un traitement préalable à l'autoclave. Contrairement au gluten, l'amidon cru ne possède aucun pouvoir d'hydratation ; c'est une matière absolument inerte l'eau n'étant retenue que par imbibition.

Alors que le gluten peut absorber 3 fois son poids d'eau, l'amidon n'en retient guère plus que la moitié. Nous avons préparé de l'amidon pur de blé en séparant d'abord le gluten par extraction sur un tamis sous le filet d'eau. Les eaux amylacées ont été centrifugées, les premières couches impures éliminées, l'amidon pur du fond remis en suspension puis centrifugé. L'amidon ainsi lavé à plusieurs reprises est centrifugé une dernière fois. Par la force centrifuge l'amidon cru se dépose très facilement en formant un gateau très compact. L'eau qui surnage est versée et une partie de ce gateau est immédiatement portée à l'étuve pour le dosage de l'humidité. Cet amidon de centrifugation nous a donné une teneur moyenne en eau de 38 %, autrement dit 62 gr. d'amidon sec peuvent absorber 38 gr. d'eau soit 61 %. Dans ces conditions il n'y a pas de diffusion possible à l'intérieur du globule, l'eau ne faisant qu'humecter sa surface. L'attaque de l'amidon cru par les diastases à basses température ne peut donc être que strictement périphérique au cours de la fermentation panaire. Nos vues modernes sur la structure des globules d'amidon sont susceptibles d'expliquer les difficultés d'attaque des diastases. Si on observe leur travail sous le microscope, on constate que la dissolution du grain d'amidon ne se fait pas par couches successives depuis la périphérie vers le centre ; la dislocation se fait par formation de canaux de pénétration. Le grain une fois percé, donnant ainsi accès à la diastase, se disloque très rapidement dans son intérieur en laissant vers la fin des espèces d'enveloppes vides. Cela fait supposer l'existence d'une enveloppe ou couche extérieure de nature solide résistant aux diastases. Cette couche une fois percée, les diastases trouvent à l'intérieur une nature d'amidon qui se prête facilement à l'hydrolyse. On attribue cette solidité

particulière de la couche périphérique des globules à la présence d'acide phosphorique en combinaison, substance à laquelle on a donné le nom d'amylopectine. Cette couche ferait rôle de protecteur du contenu nommé amylose. L'amylopectine seul possèderait la propriété de se transformer en empois. Cette façon de voir se confirme de plus en plus ; elle tend en tous les cas à expliquer la difficulté d'attaque de l'amidon cru par la surface ,la seule possible tant que l'amidon possède sa structure globulaire. Au cours de notre étude sur la température nous n'avons constaté de signe visible de corrosion interne qu'à partir de 40°, température très éloignée de celles auxquelles est pratiquée généralement la fermentation panaire. Celle-ci, comme nous le montrerons, est plutôt inférieure à 30° où l'amidon reste strictement sous sa forme native. De ce fait la saccharification des pâtes de farine devra être faible dans les conditions normales et habituelles au moins, abstraction faite de certains cas particuliers de farines avariées ou provenant de blés germés.

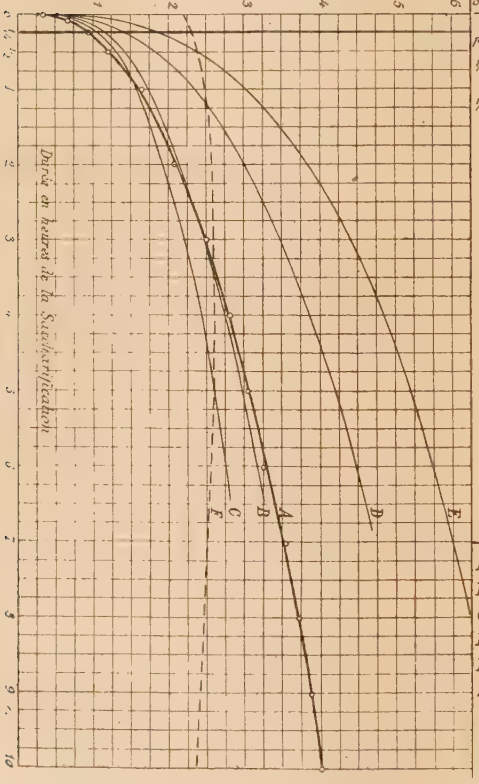
Dans l'étude suivante nous examinerons donc l'ampleur des phénomènes diastasiques ; nous allons mesurer les quantités de sucre produites par diverses farines en fonction de la durée de macération.

Le pouvoir diastasique en fonction du temps

Pour cette étude nous allons choisir une farine du type normal et nous allons voir quelle est la quantité de sucre formée d'heure en heure. La température de macération est maintenue à 27° rigoureusement en opérant avec les quantités habituelles de substance. Les résultats sont exprimés en maltose brut pour 100 gr. de farine-substance sèche. Pour pouvoir suivre de très près l'allure de la saccharification, des dosages ont été faits du sucre réducteur préexistant, du sucre formé au bout de 1/4, 1/2, 1, 2 jusqu'à 10 heures. Nous avons exceptionnellement poussé les essais jusqu'à 10 heures,

Le Pouvoir diastasique des farines de froment en fonction de la durée en Heures

Suspension d'une quantité de farine humide correspondant à 20 gr. de substance sèche dans 100^{cm3} d'eau. Les résultats sont exprimés en Maltose et rapportés à 100 gr. de farine sèche.



Valeurs expérimentales						
Durée de la Saccharification	A	B	C	D	E	F
Sucre préexistant	0,34	0,42	0,28	0,59	0,59	2,20
après ¼ d'Heure	0,96	1,24	1,10	1,46	2,38	–
après ½ Heure	1,40	–	–	–	–	–
1 Heure	1,66	–	–	–	3,08	2,49
1 H ½	–	1,94	1,76	2,70	–	–
2 Heures	2,06	–	–	–	3,85	–
3 „	2,50	–	–	–	–	2,62
4 „	2,82	–	–	–	–	–
5 „	3,05	–	–	–	–	–
6 „	3,26	3,15	2,75	4,47	5,43	2,57
7 „	3,55	–	–	–	–	–
8 „	3,72	–	–	–	6,08	–
9 „	3,88	–	–	–	–	2,36
10 „	3,98	–	–	–	–	–

A Farine entière fabrication 80 % blé de Pays
B Blé de Pays sain (Extraction 50 % sur moulin de labo)
C Farine entière fabrication 100 % blés de force
D Blé de Pays 4 % de grains germés (sur moulin de labo)
E Blé de Pays 7 % de grains germés (sur moulin de labo)
F Dosage des matières amylacées non réductrices, déduction faite des sucres réducteurs

durée de fermentation qui n'est jamais atteinte par les divers procédés de panification. Mais nous avons voulu nous rendre compte de l'allure générale du phénomène sur une grande échelle.

La courbe A du graphique de la page 30 donne l'allure complète de la saccharification. En l'analysant on constate que la formation de sucre est très rapide au début, c'est-à-dire à l'intérieur de la première heure ; au delà la vitesse diminue sensiblement se traduisant par un aplatissement de la courbe. Ainsi, au bout de 1/4 d'heure la quantité de maltose est sensiblement le triple du sucre préexistant, alors que celle du 1/4 d'heure n'est que doublée au bout de 2 heures. Le sucre enfin produit au bout de 2 heures n'est doublé qu'à la 10e heure sensiblement. Si la saccharification progresse avec le temps, il est cependant impossible d'établir une proportionnalité pour l'allure du phénomène. Celui-ci est certainement commandé par la loi de l'action des masses qui régit les réactions réversibles. La vitesse de saccharification devra varier avec le rapport des masses actives. Ce rapport variant obligatoiremnt au fur et à mesure de l'accumulation du sucre, le changement dans la concentration des produits tend à ralentir l'intensité du phénomène, toutes les autres conditions de température et de réaction du milieu restant les mêmes bien entendu. Cela peut déjà pour une part nous expliquer l'allure du phénomène. Mais comme nous travaillons avec une suspension, c'est-à-dire dans un milieu très dilué et non pas avec une pâte constituant avec le peu d'eau un milieu bien plus concentré, nous ne croyons pas que la diminution de l'intensité de la saccharification résulte plus particulièrement du changement des rapports des masses en action, susceptible de déterminer un blocage plus ou moins complet de la réaction. Notre étude de l'influence de la température nous a montré l'importance de l'état physique de l'amidon sur la vitesse de saccharification, l'amidon à l'état globulaire étant difficilement attaquable par l'amylase. Il doit donc exister dans la farine des produits amylacés intermédiaires, solubles, non réducteurs, autrement dit des dextrines, aux dépens desquelles se fait la

saccharification plus particulièrement. Cette provision étant assez rapidement épuisée, les diastases devront s'attaquer aux globules exclusivement, travail incontestablement plus pénible, qui semble plutôt être la véritable cause de la diminution de l'intensité de la saccharification. Nous avons voulu nous rendre compte de l'existence dans la farine de ces produits. Nous pouvons prévoir leur existence, toute la gamme de ces substances intermédiaires constituant un restant de matériaux nécessaires à la synthèse du grain. La maturation, qui arrête l'ensemble des réactions, agissant dans le sens d'une dessiccation, immobilise tous ces produits dans l'amande farineuse même. En outre, l'analyse des diverses parties du grain dénote des teneurs variables en substances amylacées, et les farines peuvent donc, selon leur taux d'extraction, contenir de plus ou moins grandes proportions de ces substances qui ne proviennent pas exclusivement de l'amande farineuse. Nous avons essayé de doser dans les farines l'ensemble des substances amylacées solubles non réductrices, qui, par leur nature, peuvent donner facilement naissance à du sucre fermentescible.

Voici comment nous avons procédé à se sujet. Voulant connaître la partie amylacée soluble nous avons supprimé l'action diastasique en ajoutant à la suspension dès le début les 10 cm^3 d'acide n/5 pour faire pH 3. Cette suspension est maintenue pendant 1 heure à 20° pour permettre à tous les principes solubles de se dissoudre convenablement, défécation, rectification du volume et centrifugation. Une partie de la liqueur est soumise à la saccharification acide au bain-marie à l'ébullition, dosage du glucose formé, les résultats sont exprimés en « dextrines » (coef. de conversion 0,94) pour 100 gr. de farine-substance sèche.

Ainsi avons nous obtenu sur des farines de provenance diverses :

dextrines % :	2,04	2,266	1,93	2,40

Ces essais montrent que les farines contiennent en proportion appréciable des substances amylacées solubles, qui constituent une masse de manœuvre immédiatement transfor-

mable en sucre fermentescible. Nous avons d'autres part voulu nous rendre compte si cette façon de doser ces substances présentait quelques garanties au point de vue valeur absolue, à savoir si la suppression des phénomènes diastasiques par l'acide n'admettait rigoureusement qu'une stricte mise en dissolution de la partie amylacée soluble, sans toucher autrement à l'amidon globulaire, même en prolongeant outre mesure la durée de macération.

Les essais suivants montrent l'exactitude de la méthode :

a) Un extrait de farine est fait en ajoutant l'acide dès le début de la mise en suspension ; durée de macération 1 heure à 20° :

dextrines % 2,24

b) Extrait fait en n'ajoutant l'acide qu'une fois la suspension préparée, mais en maintenant cette suspension acide pendant 6 heures :

dextrines % 2,25

c) Extrait fait en maintenant d'abord pendant 1 heure la suspension avec de l'eau pure, puis arrêt de la saccharification par l'acide et dosage :

dextrines % 2,79

d) Même essai que *c*, mais après arrêt à l'acide la suspension est encore maintenue, avant dosage, pendant 6 heures en contact avec l'acide :

dextrines % 2,77

L'ensemble des essais démontre qu'en dehors de l'amylolyse il n'y a pas dissolution possible d'amidon globulaire, mais simple dissolution des substances amylacées solubles qui préexistent dans la farine. Les essais *c* et *d* mettent en relief le travail dissolvant de l'amylase qui peut être arrêté à volonté à n'importe quel moment.

L'allure générale de la saccharification en fonction du temps résulterait donc avant tout de la quantité et de la

nature des substances amylacées de la farine. Au début la saccharification est plus rapide à la suite de la transformation facile des substances amylacées solubles ; au fur et à mesure de leur épuisement, la formation de sucre diminuera obligatoirement d'intensité, l'amidon globulaire devant préalablement être liquéfié.

La saccharification diastasique en fonction de la concentration du milieu

Nous avons donné à l'entrée de notre travail les raisons pour lesquelles il était préférable de faire les mesures sur des suspensions de farine plutôt que sur des pâtes. L'essai de laboratoire, portant généralement sur une faible quantité de substance, devra toujours fournir, s'il veut remplir son rôle d'essai de contrôle, des résultats exacts et rigoureusement constants. Il va de soi que l'exactitude d'une méthode dépend essentiellement des conditions de travail choisies le plus parfaitement possible, les erreurs dues aux manipulations devront être réduites au minimum. Ayant envisagé l'élaboration d'une méthode pratique de détermination du pouvoir diastasique, nous avons voulu respecter à la lettre les conditions habituelles de travail. Nous avions d'abord eu l'idée de mesurer le sucre formé non pas dans une suspension de farine mais bien dans une pâte de consistance moyenne. Pendant longtemps nous avons cherché les meilleures conditions de travail permettant d'obtenir des résultats d'une comparabilité suffisante. Or, deux raisons nous ont décidé à abandonner les mesures sur pâtes. L'étude du phénomène en fonction de la température nous a montré qu'il y a lieu d'observer celle-ci rigoureusement. Le séjour obligatoire du thermomètre dans la pâte pendant toute la durée de la digestion permet donc difficilement de placer le récipient dans une étuve. Cette étuve, d'autre part, devrait être également du type chambre humide, pour éviter que la pâte forme croûte à sa surface et le long

des parois après lesquelles il en adhère inévitablement des fragments plus ou moins considérables provenant de l'opération du pétrissage. En outre, il est presque impossible d'arrêter net la saccharification dans un milieu pâteux l'opération de la remise en suspension d'une pâte étant des plus difficiles selon la nature des farines. La cohésion des pâtes est due au gluten qui forme une sorte de réseau qui, selon la durée de la digestion et la nature des blés employés, est presque indestructible. La maturation des pâtes de farine consiste en une espèce de consolidation du réseau glutineux ; en voulant alors remettre la pâte en suspension homogène par trituration, il y a tout simplement séparation de l'amidon et formation de fragments plus ou moins gros de gluten et, dans les cas les moins favorables, séparation complète du caillot de gluten. Le gluten étant un milieu d'adsorption par excellence, il est donc impossible de lessiver convenablement l'ensemble des particules solides, principale condition pour répartir uniformément les principes solubles à l'intérieur de la suspension. L'arrêt de l'action diastasique par l'acide doit être instantané pour passer le plus rapidement possible au-delà de la zone de pH à saccharification optimum. Mais cette condition est presque irréalisable en opérant sur une pâte, sa mise en suspension étant plutôt laborieuse, souvent incomplète, constitue ainsi une autre source d'erreur. Par contre, en opérant sur une suspension tous ces inconvénients tombent : le milieu, de par sa fluidité permet de maintenir une température toujours homogène; la bouillie étant diluée avec un excès d'eau, la totalité de la substance mise en jeu participe aux réactions. Quant à l'arrêt de la saccharification, en pouvant ajouter l'acide d'un seul coup, celui-ci est instantané et complet. Pour la précision et la facilité des opérations il est donc préférable d'adopter définitivement la suspension comme milieu d'étude.

Il nous a cependant semblé utile d'étudier l'intensité de la saccharification aux diverses concentrations comprises entre la pâte de consistance normale et la suspension. C'est en somme l'étude de l'influence de la concentration du catalyseur sur la saccharification. La consistance moyenne d'une pâte de

farine préparée en boulangerie est de l'ordre de 60 à 65 %. Le boulanger emploie, selon la nature de la farine et le mode de panification, 60 à 68 litres d'eau pour 100 kgs de farine. Comme nos essais portent sur environ 23 gr. de farine humide, il nous faut environ 16 cm^3 d'eau pour réaliser une pâte de consistance normale ; nos suspensions sont préparées avant correction du volume définitif avec 70 cm^3 environ, soit 300 %. Nous essaierons donc d'examiner l'intensité de la saccharification à des concentrations allant depuis 300 % d'eau vers la consistance moyenne en nous adressant à une farine qui donne des pâtes assez faciles à remettre en suspension pour les dosages. Nous dirons plus loin comment on arrive à empêcher les pâtes de dessécher.

Voici les conditions de travail : farine 20 gr. de substance sèche mise en suspension plus ou moins concentrée et maintenue pendant 1 heure exactement à 27° ; arrêt de la réaction en faisant pH 3 etc. Les résultats obtenus sont portés dans le tableau ci-dessous :

Quantité d'eau	70 cm^3 = 300 %	44 cm^3 = 187 %	29 cm^3 = 125 %	22 cm^3 = 95 %	19 cm^3 = 80 %	15 cm^3 = 63 %
Maltose %..	1,28	1,36	1,47	1,52	1,62	1,58

En traçant la courbe de saccharification, nous voyons que la production de sucre croît régulièrement avec la concentration. L'étude du phénomène aux grandes dilutions nous montre que l'observation exacte du volume d'eau à employer pour la mise en suspension est moins de rigueur, de faibles variations étant peu sensibles. Mais ces essais montrent aussi que l'examen des farines sous forme de suspension ne fournit pas des valeurs absolues mais purement relatives, ce qui n'empêche pas de choisir plutôt cette façon de faire comme mode de comparaison. Voici encore quelques résultats que nous avons obtenus avec une autre farine ;

a) Durée de la saccharification 2 heures,

Suspension ordinaire	Pâte 70 %	Différence en moins
1,57	1,85	15,5 %

b) Même farine, mais durée 5 heures,

Suspension ordinaire	Pâte 70 %	Différence
2,06	2,37	14 %

c) Farine avariée, 2 heures de saccharification,

Suspension ordinaire	Pâte 70 %
3,17	3,17

Abstraction faite de l'essai *c* sur farine avariée, on peut constater sur l'ensemble des essais sur farines saines une diminution de la vitesse de saccharification avec la dilution du milieu. Cet écart — en tenant encore compte du facteur « durée » — est dans la généralité de l'ordre de 15 à 20 % en moins pour la suspension par rapport à la pâte normale. En cas de besoin, on pourra donc avec une approximation suffisante, convertir les valeurs relatives en absolues, à condition d'avoir à faire à des farines saines. D'après l'essai *c*, la vitesse ne semble en effet pas être régie par la concentration du milieu. Notons ici, pour nous permettre la discussion du phénomène, que ce cas s'est produit à plusieurs reprises au cours de nos travaux ultérieurs. Il y a lieu de s'entendre d'abord sur la nature de l'avarie d'une farine car il y a bien des cas où il est difficile de fixer les limites de la zone des farines panifiables et avariées. L'avarie se traduit la plupart du temps par une acidification, et nous allons nous tenir en attendant à ce cas plus général. L'essai *c* a été fait avec une farine franchement avariée complètement acide de pH 4.8. En nous rapportant à l'étude de la saccharification en fonction de la réaction du milieu, nous tenons immédiatement la raison pour laquelle la quantité de sucre formée est sensiblement le double

par rapport à celle de l'essai *a*) fait dans les mêmes conditions. Les farines saines ayant généralement un pH de 6, la farine avariée de l'essai *c* se trouve pratiquement avec son pH 4.8 dans la zone de saccharification maximum. Nous apportons ici une première preuve de l'exactitude de notre étude du phénomène en fonction de la réaction du milieu, à l'appui de laquelle nous prétendons que ce n'est pas la nature chimique de l'acide qui intervient dans la vitesse de la saccharification diastasique mais son état physique susceptible de faire varier la réaction. Le phénomène est toujours du même ordre que l'acidification soit réalisée artificiellement avec des acides minéraux par exemple, ou qu'elle soit naturelle et due à la formation au sein de la farine de produits acides. Voyons maintenant quelle peut être la raison pour laquelle la concentration du milieu ne semble pas agir comme dans le cas des farines saines. Dans notre étude générale nous aurons l'occasion de nous étendre plus amplement sur le rôle de la réaction du milieu; retenons déjà pour le cas présent que la réaction du milieu est d'une stabilité plus ou moins grande suivant les éléments qui la déterminent. La farine est un milieu qui par ses constituants est fortement tamponné, c'est-à-dire qu'il est assez difficile de déplacer son pH dans un sens ou dans l'autre. En diluant même considérablement un extrait de farine, sa réaction ne varie guère sensiblement. Nous avons vu que l'acide est susceptible de jouer jusqu'à un certain degré le rôle d'accélérateur de la saccharification diastasique. Comme la dilution ne fait pas varier pratiquement le pH, la vitesse de saccharification ne peut varier sensiblement non plus que l'on opère en milieu concentré c'est-à-dire sur une pâte ou sur une suspension.

Une farine, en devenant mauvaise, passe obligatoirement et petit à petit par toute la gamme des acidités depuis son pH normal de 6 jusqu'à 5. Les écarts trouvés dans la vitesse de saccharification en fonction de la concentration du milieu s'effaceront de plus en plus en allant depuis l'acidité normale de la farine saine vers les plus fortes acidités. La conversion des valeurs sur suspension en valeur absolue sur pâte n'est admissible qu'avec des farines dont le pH n'est pas inférieur

à 5,95 ; dans le cas des farines avariées par acidification, les valeurs relatives sur suspension correspondent aux valeurs absolues sur pâte, à condition que la réaction de la farine ne soit pas sensiblement supérieure à pH 5.

Etude complète d'une méthode définitive de détermination du pouvoir diastasique des farines et des blés

Nous venons de terminer l'examen complet des principaux facteurs qui peuvent agir sur les diastases des farines. Nous avons vu que sans exception les diastases des farines de froment suivent les lois générales qui régissent les catalyseurs chimiques et biologiques. Cela nous a permis de fixer d'une façon définitive les conditions de travail à observer nécessairement pour l'examen de ces phénomènes dans les farines. Nous nous sommes proposé d'établir dans la suite une documentation assez complète pour examiner les farines du commerce les plus diverses comme provenance et comme composition au point de vue « pouvoir diastasique », à savoir si la production de sucre est susceptible de varier dans de fortes limites. Cette étude nous paraît être encore plus utile au point de vue meunier pour l'examen des divers blés en vue de l'établissement des mélanges. Il est en effet rare aujourd'hui et impossible pour une grande usine d'écraser un lot de blé de même nature. L'industrie meunière moderne procède plutôt à l'établissement de mélanges étudiés selon la qualité de farine à obtenir et obligatoirement selon les disponibilités. Il semble donc tout indiqué d'examiner séparément la qualité diastasique de la farine tirée des blés de même origine. L'étude des blés permettra peut-être de caractériser certaines régions ou pays, abstraction faite des conditions climatériques qui sont fort probablement susceptibles de faire varier leurs qualités diastasiques d'une année à l'autre. On peut en effet prévoir, qu'un mélange de blé puisse donner entièrement satisfaction en ce qui concerne les qualités plastiques de la pâte, alors que la va-

leur fermentative soit ou trop élevée ou trop basse. Nous avons maintes fois déjà été amené à nous poser cette question devant certains insuccès manifestes et qui ne pouvaient être attribués aux qualités plastiques tout à fait hors de cause. Les boulangers nous tiennent parfois dans leurs observations le langage que voici : la pâte est très souple, mais elle reste inerte et ne pousse pas au four. Il est probable que ce défaut provienne en partie du manque de sucre néo-formé ou préexistant ne permettant pas à la levure de créer la réserve d'acide carbonique nécessaire à faire gonfler la pâte sous l'action de la chaleur. L'étude des farines de blés purs nous semble donc des plus utile, et il y a lieu de fixer d'abord les conditions nécessaires à la préparation des farines d'étude.

L'achat des blés se fait généralement, et quand il s'agit d'un certain tonnage surtout, sur échantillon. L'échantillon devra être assez important pour pouvoir déterminer de façon satisfaisante le poids hectolitre qui est à l'heure actuelle encore la principale donnée d'après laquelle se guide l'acheteur pour déterminer la valeur du blé.

Ce n'est pas la place ici de critiquer ce vieil usage qui, dans les grandes lignes, ne donne qu'une indication approximative sur le rendement en farine. Cette détermination, si elle doit être bien faite, demande un échantillon de 1 kg environ. Pour la préparation des farines d'essai au laboratoire il existe des petits moulins d'expérience spécialement étudiés, ressemblant comme construction aux grands broyeurs. Nous avons eu l'occasion à plusieurs reprises, pour d'autres fins, d'étudier quelle était la quantité minimum de blé pouvant être écrasée de façon à obtenir une farine à peu près comparable comme composition à celle produite à l'usine. La quantité de farine pouvant être tirée de 1 kg de blé nous paraît bien suffisante. Quel sera le taux d'extration à choisir ? L'usine moderne avec tout son outillage peut tirer aisément 70% de farine ce qui est absolument impossible avec n'importe quelle installation de laboratoire. Certains blés tendres s'effritant très facilement permettent à la rigueur encore un tirage à peu près convenable à 60%, mais d'autres et les blés durs en général, s'y opposent

carrément. Le taux d'extraction dépend naturellement du mode de tamisage et de l'ouverture de la soie des tamis en particulier. Les numéros de soie généralement utilisés pour la séparation de la farine des produits encore ronds vont du n° 9 au n° 16. Il est certain qu'une petite installation de laboratoire ne peut comprendre un ensemble complet de blutage comme à l'usine, un seul tamis choisi judicieusement devant servir à séparer la farine du reste. Ce choix dépend principalement de deux facteurs qui limitent l'emploi aussi bien du tamis le plus ouvert que le plus fin. Etant donné la grande diversité de nature des blés, se classant dans les grandes lignes en blés durs, demi-durs et tendres, l'emploi du tamis n° 16 exigerait dans le cas des blés durs un broyage trop intense préjudiciable à la qualité de la farine. L'emploi exclusif du tamis n° 9 fournirait une farine ronde différant trop de la farine produite à l'usine et permettrait trop facilement le passage dans la farine d'essai d'une notable proportion de particules de sons, écartée de la mouture industrielle par les opérations du sassage et autres. Nous avons déjà vu quelle est l'importance au point de vue diastasique des parties périphériques du grain de blé et comprenons maintenant la source d'erreur qui peut résulter de l'introduction de ces fines particules de sons dans une mouture d'expérience mal étudiée.

Voici d'ailleurs quelques essais qui montrent l'influence des produits périphériques sur la saccharification. Nous avons prélevé sur une même mouture en cours des farines de passages correspondant les unes aux produits de l'amande farineuse, les autres aux produits de plus en plus périphiques. Le sucre diastasique produit au bout de 6 heures de saccharification était :

Passage C (cœur).....	1,41 gr.
Passage H	3,26 gr.
Passage L	4,00 gr.
Passage O (queue).....	5,74 gr.

Pour la conduite de la mouture l'ensemble des blés peut être classé en deux catégories, l'une comprenant les blés tendres

généralement humides parmi lesquels nos blés indigènes, l'autre comprenant les blés durs, généralement secs. Il existe naturellement toute une gamme avec des qualités de passage entre ces deux classes. Examinons d'abord la façon dont se comportent à la mouture les blés humides tendres. Leur humidité varie entre 14 et 17, 5% et plus suivant les conditions climatériques et autres. A ce degré d'humidité les enveloppes formant le son possèdent une certaine élasticité et souplesse qui résiste à l'action déchiquetante des broyeurs. Les pellicules de son restent plutôt grandes et se dépouillent facilement sans production de fines piqûres. L'amande farineuse de ces blés étant généralement friable, celle-ci se transforme aisément en farine. L'emploi pour ces blés du tamis n° 9 permettrait de tirer à la rigueur 60% de farine sans trop risquer d'introduire de son en quantité. Il n'en est pas de même avec les blés durs et secs. Ecrasons-les dans leur siccité naturelle, qui oscille suivant les espèces entre 9 et 14%. Alors que la mouture des blés tendres fournirait des sons en grandes plaquettes, on recueille ici un mélange de produits absolument pulvérisés ; alors que les 2 ou 3 premiers passages sur blés tendres fournissaient déjà une bonne proportion de farine, les blés durs ne fournissent guère de produits farineux mais des semoules surtout. La conversion de cette semoule est difficile et demande un grand nombre de passages au cours desquels le son est pulvérisé également et passe en partie dans la farine. Nous n'avons d'ailleurs jamais pu tirer convenablement 50% de farine sur certains blés durs, si l'on considère la farine comme un produit provenant de l'amande farineuse pratiquement exempt de particules d'enveloppe. L'emploi du tamis n° 12 permet de tirer convenablement 50 % de farine des blés tendres humides ; la composition de cette farine se rapproche comme pureté très sensiblement de celle tirée à l'usine à 70 %.

Voici maintenant les conditions nécessaires à l'obtention d'une farine d'expérience sur blés durs et secs. Le grain de blé dur se distingue du grain tendre par l'aspect différent de la cassure. En brisant sous la dent un grain de blé tendre, la cassure est généralement et à quelques exceptions près (voir

les blés glacés) blanche et farineuse. La cassure des blés durs présente un aspect corné ou vitreux dû à sa composition mais surtout à l'agencement plus serré des particules entre elles. Pour écraser ces blés plus facilement et respecter davantage les sons, le moulin moderne procède au mouillage et au conditionnement des blés durs. Le blé mouillé passe dans des colonnes chauffées convenablement, dénommées conditionneurs, dans lesquelles l'eau diffuse sous l'action de la chaleur à l'intérieur du grain. L'eau de mouillage est dosée de façon à ramener l'humidité initiale de ces blés à 16 % environ. L'aspect intérieur et extérieur du blé change par le conditionnement, le grain est plus gonflé ; l'eau diffusant par capillarité rend l'amande plus spongieuse et friable et l'enveloppe devient plus souple et plus élastique. On rapproche ainsi l'état physique du blé dur de celui des blés tendres, l'expérience ayant montré que la mouture se fait le plus convenablement et avec un minimum de force avec du blé d'une teneur en eau de 15 à 16 %. Le conditionnement communiquant plus de souplesse aux enveloppes et au germe, ceux-ci sont moins hachés par les opérations du broyage et les sons se dépouillent plus facilement. Le conditionnement préalable du blé permet au meunier de finir plus facilement et plus complètement sa mouture, résultat à la fois qualitatif et quantitatif. L'examen convenable des blés durs et secs au laboratoire exige une opération préliminaire semblable au conditionnement industriel.

Voici la façon de procéder qui nous a donné satisfaction : L'échantillon de 1 kg de blé est placé dans un bocal en verre à large ouverture muni d'un bouchon en verre rodé. La capacité du bocal est choisie de façon à ce que le blé ne le remplisse qu'à moitié ou 2/3 environ. Connaissant par dosage préalable le taux naturel en humidité on lui ajoute une quantité calculée d'eau distillée nécessaire pour le ramener à 16 % d'humidité. Dans le but de répartir plus uniformément l'eau dans la masse de blé, nous l'y incorporons avec un petit pulvérisateur pesé avant et après pulvérisation pour contrôler le poids d'eau introduit. On bouche et remue la masse humectée à plusieurs reprises. Le blé est ainsi conservé pendant 24 heures à la

température de la pièce. Au début de l'opération la masse paraît très humide, mais au bout de 2 heures déjà l'eau, qui n'était d'abord que superficielle, a disparu vers l'intérieur du grain. En soumettant alors ce blé à la mouture, on constate que le broyage est devenu plus facile, les sons se séparent convenablement des produits farineux sous forme de grandes plaquettes. L'emploi du tamis N° 12 permet — avec un peu plus de difficultés qu'avec les blés tendres — de tirer 50 % de farine propre, exempte de piqûres. Il n'est cependant pas possible de tirer avec ce même outillage simple 60 % de farine, taux préconisé par Rumsey dans un travail identique que nous avons eu l'occasion d'étudier. Nous insistons tout particulièrement sur la nécessité absolue de l'opération du conditionnement et sur le taux d'extraction de 50 % pratiqué avec une simple installation d'expérience. Nous estimons et allons prouver que l'écrasement des blés durs à leur siccité naturelle et l'extraction à un taux supérieur à 50 %, que nous considérons comme le maximum, fournit inévitablement des farines souillées de nombreuses brisures de son et de germe, produit médiocre et absolument différent de celui obtenu à l'usine sur le même blé et tiré bien plus loin. Voici deux essais de nature tout à fait différente qui montrent l'importance du conditionnement des blés durs pour l'obtention d'une farine convenable. Le premier essai consiste à comparer des farines entre elles au seul point de vue de leur blancheur ; c'est l'essai-type pratiqué journellement par les meuniers, dénommé essai de Pekar ou le pekar tout court, procédé imaginé par un ingénieur hongrois du même nom. Nous ne pouvons insister ici sur les détails des opérations pour cet examen que l'on trouvera dans les ouvrages de meunerie. La méthode consiste à comparer deux ou plusieurs farines entre elles réunies sur une planchette noire en confectionnant avec chacune des espèces de parallélèpipèdes, agencés sans intervalle les uns à côté des autres. Le tout ayant subi préalablement une compression, permet d'être humecté par un passage de quelques instants dans l'eau, l'examen de la teinte étant ainsi plus facile. Généralement on insère la farine à examiner entre la farine type.

Etudiant les meilleures conditions de préparation des farines d'essai pour les mesures diastasiques, nous avons comparé la teinte des diverses farines tirées du même blé suivant le taux pratiqué et l'ouverture des tamis. Pour les blés tendres, l'emploi du tamis N° 9 comparé aux produits tirés du tamis N° 16, présentait des piqûres très visibles, alors que l'emploi du tamis N° 12 fournissait une farine impeccable comme pureté. La farine tirée à 60 % se distingue déjà bien au pekar de celle tirée à 50 % par sa teneur en « rougeurs », particules provenant de l'assise protéïque douées de propriétés diastasiques. Au microscope, le nombre de ces produits périphériques domine nettement dans la farine tirée à 60 % comparée aux farines industrielles tirées à 70 %. La farine par contre tirée au laboratoire à 50 % au tamis N° 12 présente pratiquement le même aspect.

Il n'en est pas de même avec les blés durs et secs. Il suffit par exemple d'écraser un Plata à l'état sec pour constater qu'on a bien du mal à tirer 50 % de farine même au tamis N° 10, ces blés produisant surtout des semoules et relativement peu de farine. La farine ainsi obtenue sera en outre fortement piquée par une énorme proportion de sons finement hachés. L'emploi du tamis plus fin N° 12 n'y remédie pas très efficacement si l'on ne procède préalablement au conditionnement de ces blés. Il suffit de préparer une farine sur blé sec tirée à 50 % au tamis n° 12 et de comparer au pekar celle-ci à la farine obtenue dans les mêmes conditions mais sur blé conditionné préalablement. La première farine sera rouge, alors que la farine de blé conditionné est nettement blanche et pratiquement exempte de particules périphériques.

L'importance du mode de préparation des blés pour la mouture se trouve encore confirmée par l'étude des qualités diastasiques des diverses farines. Pour cela nous avons étudié la farine de 3 types différents de blés durs en mesurant le sucre sur la farine tirée à 50 % au tamis n° 12 sur le blé à son taux d'humidité naturelle puis sur la farine tirée dans les mêmes conditions mais sur blé conditionné préalablement. Durée de la saccharification 2 heures à 27°.

Voici les résultats obtenus :

	farine de blé sec	farine de blé conditionné
Blé Hard Winter Pacific..... (humidité 9,37 %)	2,71	1,79
Blé russe du Sud..... (humidité 12,58 %)	2,73	2,00
Blé Manitoba..... (humidité 13,25 %)	3,06	2,58

Ces chiffres montrent assez clairement l'importance qu'il faut attribuer au mode de préparation de la farine pour l'examen distasique. Il est certain que les valeurs obtenues sur farine de blé conditionné se rapprochent le plus de celles correspondant à la farine préparée industriellement sur ces blés qui ne sont jamais moulus sans mouillage préalable. L'ensemble des opérations pour mesurer le pouvoir diastasique se résume donc comme suit :

Préparation de la farine d'essai, s'il s'agit d'une mesure sur blé. Dépoussiérage du blé et élimination des graines étrangères, s'il y a lieu. Les blés, faisant moins de 14 % d'humidité, seront avant mouture ramenés à 16 % par conditionnement. Cette opération se fait utilement dans un bocal en verre à large col, de 2 litres environ de capacité, sur un échantillon de blé de 1 kg. Durée du conditionnement 24 heures à la température de la pièce. Les blés tendres et humides peuvent être moulus directement. La séparation de la farine se fait au tamis de soie N° 12 ; taux d'extraction 50 %, soit 500 gr. La farine, pour éviter des pertes par dessication, doit être conservée dans des bocaux ou boîtes métalliques fermant hermétiquement. Les mesures proprement dites sont précédées d'un dosage d'humidité de la farine. Ce dosage se fait par dessication de 5 gr. environ de farine à l'étuve à 102° C jusqu'à poids constant (durée 4 à 5 heures). Nous avons donné dans un chapitre précédent les détails des opérations pour la détermination soit

du sucre diastasique, soit du sucre préexistant et n'avons plus par conséqupent à y revenir.

La solution de baryte de défécation est préparée en dissolvant de la baryte au frais dans un récipient de 2 litres. On laisse reposer pendant quelques jours puis on décante la dissolution claire dans un flacon de 1 litre bien bouché. Pour éviter sa carbonatation pendant la titration, il est préférable de la placer dans la burette plutôt que l'acide. Nous titrons en présence de phénolphtaléïne. Le précipité de $BaSO^4$ ne gêne pas pour saisir le virage au rose.

CONCLUSIONS DE LA PREMIERE PARTIE

1) La farine mise en contact avec l'eau, soit en simple suspension, soit en pâte, forme du sucre réducteur par action diastasique ; ce sucre est principalement du maltose.

2) La saccharification diastasique est fonction de la réaction du milieu.

Pour les farines saines et normales cette réaction est comprise entre pH 5,95 et 6,20.

A pH 5 la saccharification diastasique est maximum ; elle est arrêtée à pH 8,5 et à pH 3. En allant de pH 3 vers les plus fortes acidités la saccharification reprend. Contrairement à ce qui se passe en zone basique, où la saccharification est arrêtée définitivement à partir de pH 8,5, l'arrêt du phénomène à pH 3 n'est que passager ; ce point correspond à la limite d'action du catalyseur biologique et du catalyseur chimique pur. Les ions H de l'acide peuvent donc, selon leur concentration, accélérer ou freiner le catalyseur biologique. A pH 3 le catalyseur biologique est définitivement détruit.

3) La saccharification diastasique des farines est fonction de la température ; elle est inexistante à 0°, augmente faiblement jusqu'aux environs de 45° puis très rapidement jusqu'à 62°5 et retombe aussi rapidement au-delà de cette température.

La température agit donc, comme l'acidité, dans les deux sens, pouvant, selon sa valeur, accélérer ou ralentir et finalement détruire le phénomène.

La montée rapide à partir de 45° correspond au commencement de la transformation à cette température de l'amidon globulaire en empois.

La température de 62°5 est la température optimum généralement observée en saccharification diastasique.

La température moyenne, à laquelle on soumet ordinairement les pâtes à la fermentation panaire, est de 27° C.

4) La saccharification diastasique des farines est fonction du temps.

5) La saccharification diastasique des farines saines (non acides) est fonction de la concentration du milieu.

Dans le cas des farines acides, l'action due aux variations de la concentration est contrebalancée par l'acidité (pH $\backsim$ 5) qui accélère la saccharification. La farine étant un milieu fortement tamponné, la valeur du pH ne change pas pratiquement avec les variations de concentration.

6) Comme les substances douées de propriétés diastasiques sont principalement localisées dans le germe et dans les parties périphériques du grain de blé, le pouvoir saccharifiant des farines est fonction de leur taux d'extraction et de leur pureté ; les farines de cœur sont pauvres en diastases, les farines basses en sont riches.

7) Notre méthode de détermination du P. D. résulte de l'observation des principales conditions énoncées ci-dessus qui sont susceptibles d'agir sur le phénomène.

Pour les facilités d'ordre technique nous arrêtons la saccharification non pas en alcalinisant le milieu mais en l'acidifiant à pH 3 avec de l'acide sulfurique et en déféquant à la baryte, seul procédé nous ayant permis d'obtenir des extraits limpides pour le dosage impeccable du sucre.

8) Pour doser le sucre réducteur préexistant dans les farines, la quantité d'acide nécessaire pour supprimer la saccharification diastasique doit être ajoutée au moment même de la mise en suspension, étant donné que la formation de sucre réducteur est très importante dès la mise en contact de la farine avec l'eau.

La quantité de sucre réducteur préexistant dans les farines de blés sains est très faible ; elle est comprise entre 0,15 et 0,35 %.

DEUXIEME PARTIE

Etude générale du facteur diastasique dans les farines

Ayant examiné une par une les diverses conditions susceptibles d'agir sur la saccharification diastasique, nous sommes arrivés à notre premier but qui était l'établissement d'une méthode de dosage exacte dans des conditions correspondant dans les grandes lignes à celles pratiquées pour la panification. Nous allons maintenant, moyennant cette méthode, étudier le phénomène sur toutes sortes de farines du commerce, saines et avariées, et sur des farines d'expérience de blés purs de provenance diverse, blés sains et avariés, pour voir dans quelle mesure les valeurs diastasiques sont susceptibles de varier ; cet examen doit nous fixer définitivement sur la réelle importance du pouvoir diastasique pour l'interprétation de la valeur boulangère d'une farine. Cette étude nous mènera parfois hors de notre sujet proprement dit, puisque nous devons obligatoirement insister aussi sur l'importance des divers facteurs qui agissent non seulement sur la saccharification diastasique mais aussi sur les propriétés physiques de la pâte de farine. Afin de pouvoir attribuer sa juste place et valeur au pouvoir diastasique, il nous faudra donc étudier aussi à fond toutes les autres conditions d'ordre physico-chimique, la partie diastasique ne représentant qu'une part de ce vaste ensemble qui définit la qualité d'une farine.

De cet énoncé déjà il résulte que pour l'interprétation

exacte et complète de la valeur d'une farine il ne peut exister qu'une seule méthode de détermination qui est l'essai de panification ; c'est le seul essai qui traduise l'ensemble des propriétés d'une farine, qu'elles soient d'ordre physico-chimique (plasticité de la pâte) ou qu'elles soient d'ordre biochimique (fermentescibilité de la pâte). Il existe en effet à l'heure actuelle quantité de procédés dont le but principal consiste à déterminer la qualité d'une farine d'une façon rapide, l'essai de panification étant considéré comme étant trop long à faire et possédant incontestablement lui aussi certains points faibles. Nous insisterons plus particulièrement sur une méthode rapide qui est basée uniquement sur la mesure de la plasticité des pâtes non fermentées. Cette méthode, que nous pratiquons depuis 6 ans d'ailleurs, nous paraît donc bonne pour les études rapides, cependant nous estimons que seul l'essai de panification conduit scientifiquement, peut traduire la valeur boulangère réelle d'une farine ; nous y reviendrons plus loin.

Reprenant maintenant l'étude des divers facteurs qui peuvent influer sur la saccharification diastasique, nous allons d'abord et nécessairement nous étendre sur le rôle de la température. Nous avons vu quelle est l'allure générale du phénomène le long de l'échelle des températures. Cependant, la zone qui nous intéresse plus particulièrement est située au-dessous de 35° C. La cuisson de la pâte de farine est toujours précédée, et pour n'importe quel mode de panification, de la fermentation. La levée de la pâte est toujours réalisée par des micro-organismes par l'emploi du levain ou de la levure pure de boulangerie. La fermentation est donc alcoolique et « haute ». Quelle est maintenant la température moyenne à laquelle on soumet généralement en boulangerie la pâte à la fermentation. Nous nous étions préoccupé de cette question pour d'autres fins et bien avant notre étude sur la saccharification diastasique. En nous documentant alors sur la question, nous avons trouvé une note du Dr Fornet, de Berlin (12), accompagnant son « Mehlomètre », appareil de laboratoire pour faire des micro-panifications, dans laquelle l'auteur préconise la température de 35° pour la fermentation. Récemment, K. Mohs,

dans son livre intitulé « Mehlchemie » (2), conseille également la température de 34° comme la plus favorable, correspondant à l'optimum pour le travail de la levure. Ces températures nous ayant paru excessives pour plusieurs raisons, nous nous sommes décidé à faire relever à l'intérieur d'une année dans des boulangeries des quatre coins de la France la température des pâtes en fermentation. La température moyenne obtenue était de 27° C avec des fluctuations allant à 24° en moyenne en hiver et à 30° en moyenne en été. Nous avons relevé aussi quelques températures de 11, 14 et 37°, que nous avons considérées comme des anomalies et accidents vu leur nombre très restreint. Nous avons donc adopté la température de 27° comme température « normale » de la fermentation panaire. Notre choix a d'ailleurs été confirmé depuis par une étude sur la fermentation de Rumsay (13), qui préconise lui aussi comme température celle de 27° exactement. Nous ne pouvons d'ailleurs partager avec Mohs et Fornet l'emploi des températures de l'ordre de 34 à 35°, surtout si nous considérons les fortes doses en levure préconisées de l'ordre de 4 à 5 kg pour 100 kg de farine. La température agit à la fois sur la vitesse de la saccharification et sur la vitesse de la fermentation. Aux températures de 34 à 35° les deux phénomènes marchent à une vitesse excessive, incompatible avec la maturation de la pâte, phénomène qui demande un minimum de temps à respecter. D'autre part, la fermentation est tellement rapide que le temps matériel fait défaut au boulanger pour le façonnage des pâtes (pour la tourne). Ce facteur devient surtout important quand il s'agit de grandes quantités de pâte à façonner ; il arrive alors que le boulanger n'a pas encore terminé la tourne des derniers pâtons que les premiers, fermentant en couche, sont prêts à être enfournés. Ceux-ci étant arrivés au maximum de la levée perdent du gaz carbonique et relachent. L'emploi d'une trop haute température de fermentation handicape donc le boulanger dans ses opérations, leur conduite devenant trop difficile. Il est certain que du pain fait dans ces conditions ne peut présenter ses meilleures qualités à tout point de vue. L'aspect extérieur du pain est

médiocre, la texture de la mie est vilaine, trop courte, et sa saveur généralement trop prononcée de par la fermentation à tendance plutôt excessive. Disons tout de suite pour parer à certaines objections que nos critiques sur le facteur température résultent de nos observations sur la panification moderne française, travail type viennois. Ce travail qui fournit incontestablement le meilleur pain à tout point de vue se distingue nettement de la panification anglo-saxonne en moule. Le travail viennois demande sans doute une connaissance plus profonde du métier pour pouvoir juger d'après l'aspect et au toucher les divers degrés de maturation et de levée de la pâte. Voici en résumé les opérations du travail viennois en direct. On prépare la pâte au pétrin mécanique. La masse de pâte est d'abord soumise à une fermentation principale au cours de laquelle on la replie à plusieurs reprises pour l'aérer. Une pâte fraichement pétrie ne présente pas encore son maximum de plasticité. Il se passe au cours du repos de la pâte certaines réactions d'ordre physico-chimique indépendantes de l'action fermentative de la levure. La liaison eau-gluten devient de plus en plus intime ; ce phénomène, connu sous le nom de maturation, dépend de la quantité et de la qualité des composants de la farine et de la partie azotée plus particulièrement. Il y a donc deux phénomènes qui marchent de pair : la maturation de la pâte qui définit la plasticité puis la levée de la pâte réusltant de la fermentation. Nous reviendrons sur cette question dans notre dernier chapitre sur la fermentation et les besoins de la levure en sucres fermentescibles. Après cette première fermentation de la pâte en masse, le boulanger procède à la tourne, c'est-à-dire au façonnage des pâtons. Comment le boulanger reconnaît-il que la pâte est bonne à la tourne ? Est-ce par l'état d'avancement de la fermentation ? S'il en était ainsi l'emploi d'une haute température de fermentation et de fortes doses de levure serait justifié. Le boulanger cependant observe fréquemment la masse de pâte en fermentation ; il regarde si en levant elle présente un aspect bombé ou plat et la tire pour voir si elle est longue ou courte. C'est l'évaluation simultanée et de sa

plasticité et de son degré de fermentation qui décide le moment du façonnage. Si la pâte se présente bien souple et ronde on procède à sa tourne, si la pâte est plate et courte le boulanger la replie, lui donne un « tour » et l'abandonne encore à la fermentation en masse. Il ne faut donc pas que l'emploi d'une température trop élevée fasse dépasser ou précède de trop l'état de plasticité optimum. Pour la tourne la pâte est découpée en morceaux plus ou moins gros suivant la nature des pains à obtenir et la pâte devra être plus ou moins ferme aussi suivant qu'on envisage de faire du pain rond (miches) ou du pain long en flutes (dit de fantaisie). Le pain de fantaisie en flute est de plus en plus demandé et c'est le plus difficile à préparer. Le morceau de pâte découpé de la masse principale est tourné en pâton long. La pâte, pour résister sans déchirer à l'étirement au cours du façonnage, doit donc être élastique et souple, et avoir l'aspect sec sans coller. Or, une pâte n'ayant pas acquis toutes ces qualités plastiques est courte et a tendance à coller d'autant plus que la température a été trop élevée. L'étude des pâtes à l'extensimètre Chopin, dont nous parlerons plus tard, a démontré d'ailleurs que c'est aux alentours de 25° C que les pâtes présentent leur optimum de plasticité. Les pâtons façonnés sont placés dans des pannetons entoilés de forme voulue où ils subissent une dernière levée avant la mise au four, ils sont soumis à la pousse en couche. Ici la pâte doit acquérir son optimum de levée compatible avec ses qualités plastiques. La pâte se remplit de gaz, elle augmente de volume jusqu'à un certain degré où sa charpente ne peut plus maintenir cet état spongieux. Si son élasticité est mauvaise les alvéoles crèvent et laissent échapper du gaz carbonique, la pâte au lieu de rester bien ronde et bombée relache. Cependant, le boulanger cherche à devancer, suivant l'aspect, ce point dangereux. La pâte, renversée sur une pelle, est enfournée. Elle repose donc dans le four sans support, n'étant maintenue que par sa propre charpente. La température pendant la cuisson est progressive, les gaz se dilatent, et la pâte n'ayant pu acquérir à la suite d'une fermentation trop rapide son optimum de plasticité et de corps, au lieu de

pousser rond et en hauteur s'applatit en donnant un pain plat et crevassé. La mie manquant d'élasticité perd son gaz sous l'action de la chaleur, elle devient courte et serrée. Si le boulanger ne peut agir en temps utile les pâtes fermentant trop rapidement deviennent trop mûres, elles sont très difficiles à enfourner et le pain possède généralement, en plus de son vilain aspect, une saveur trop forte due à la production excessive de produits accessoires à la fermentation avec une mie d'une vilaine couleur grise. Dans notre boulangerie d'essai nous avons eu pendant 3 ans sous nos ordres un vieux boulanger qui connaissait son métier comme très peu aujourd'hui. Il avait l'habitude du pétrissage à la main et possédait une rare appréciation des qualités de farine et des modes de panification usités en Europe. Cet homme avait travaillé pendant 55 ans comme « mitron » dans des boulangeries en Autriche, en Allemagne, en Belgique et en France, à la campagne et dans les grandes villes. Son seul défaut était de faire toujours du beau pain même avec une mauvaise farine. Ne travaillez, disait-il, ni trop à froid, cela vous fait perdre du temps, ni trop à chaud, car n'étant plus maître de votre travail, le pain obtenu est mal conditionné ayant le plus souvent mauvais goût et vilaine mie. Si vous voulez faire du pain en moule, toute farine convient car vous l'enfournez avec des béquilles. Il est certain que la panification en moule n'a rien de comparable avec ce que nous venons de décrire. La forme du pain est toujours définie par le moule ; une pâte, si elle est tenue trop claire ou si elle provient d'une farine trop faible comme gluten, ne peut jamais fléchir autant qu'une pâte enfournée sans moule qui doit maintenir sa forme par ses propres moyens. Pour nos contrôles de farine, nous préparons d'ailleurs depuis des années une pâte en moule à côté des autres pâtes façonnées ; le pain en moule est toujours sensiblement égal à lui-même contrairement aux autres dont l'aspect varie suivant la conduite du travail et la qualité de la farine. Le pain en moule de par sa texture serrée n'est pas fait pour être mangé à la main, il est trop indigeste à l'état frais et moins savoureux que l'autre. Ce pain généra-

ment coupé en tranches sert, rassis ou grillé, de support à d'autres aliments. Dans ces conditions, il est donc évident que ses propres qualités ne présentent qu'une valeur secondaire.

Nous croyons avoir insisté assez sur ces deux méthodes de panification pour pouvoir démontrer que le contrôle par la méthode au moule ne peut donner d'indications complètes sur la valeur boulangère d'une farine travaillée au procédé viennois. Nous estimons que seul l'essai de boulangerie conduit scientifiquement sur un minimum de 5 kgs de farine est susceptible de donner d'utiles indications à tous points de vue. L'observation rigoureuse du facteur température joue énormément et nous avons eu maintes fois l'occasion de contrôler une farine refusée comme étant mauvaise, inerte à la fermentation et au four. Il est un fait, malheureusement, que quantité de boulangers ne se soucient guère des bonnes conditions de travail. Les quantités de substances sont mesurées à l'œil, et il en est de même pour l'appréciation du facteur température qui se fait généralement à la main. Le relevé des températures auquel nous avons procédé nous en a d'ailleurs apporté la preuve : il est évident qu'une température de 11 ou 14° est absolument insuffisante à la saccharification efficace de la pâte et à une bonne fermentation. Les froids rigoureux ne manquent jamais de déclancher certains mouvements de mécontentement chez les boulangers au sujet de la qualité de la farine. Cependant, au point de vue meunier le froid est très favorable, l'échauffement provoqué par le broyage, si préjudiciable aux produits de la mouture, est réduit au minimum ; la production de la farine est donc faite dans les meilleures conditions possibles ; notons que la meunerie moderne cherche de plus en plus à neutraliser par l'emploi du froid artificiel l'excès de température dégagé dans les appareils pendant les périodes chaudes de l'année. Nous avons fait relever quantité de ces farines déclarées médiocres et voici après enquête et étude la véritable cause de certains échecs. Les moutures étant entièrement automatiques, il n'y a pas, à priori, de raison pour que, provenant d'une même mouture, une livraison soit mauvaise et l'autre bonne. Si une mouture

d'une journée est mauvaise, les plaintes sont générales, par contre quelques plaintes isolées nous indiquent d'habitude une défectuosité dans le travail du boulanger. Par les grands froids la mouture est froide et les farines conservées en magasin ont une température de 0° et souvent moins. Il suffit qu'un boulanger soit à court de farine pour que, dès la livraison, il soumette celle qu'il reçoit au pétrissage et tout en se servant d'eau chaude (40 à 45° au maximum), celle-ci employée à raison de 65 % environ ne peut communiquer à la pâte qu'une température de 10 à 14° environ. Les locaux de boulangerie en période de grand froid ne sont pas assez chauds non plus de sorte que la pâte n'avance pas, elle est inerte pendant la fermentation principale et sur couche, le boulanger est limité comme temps naturellement, il enfourne une pâte insuffisamment levée, ce qui lui donnera inévitablement un pain maigre et compact. La même farine tempérée préalablement de façon à réaliser une pâte ayant environ 27° s'est révélée absolument normale à la fermentation et le pain était de bel aspect. L'inobservation d'une bonne température de fermentation conduit donc à des échecs sérieux et cela en dehors de toute autre considération de la qualité propre de la farine. Une farine doit toujours être tempérée avant utilisation, car il n'est pas prudent non plus de vouloir corriger les gros écarts par l'eau de pétrissage de température trop élevée préjudiciable à la vitalité de la levure.

Contrairement aux ennuis encourus en hiver, la bonne conservation des farines en été exige les mêmes précautions. En période de chaleur les farines doivent être toujours emmagasinées dans des locaux frais et secs ; la température de l'eau de pétrissage doit être mesurée pour éviter des excès dans l'autre sens. Les changements de température brusques sont susceptibles d'induire en erreur le boulanger. Celui-ci aura par exemple pris l'habitude de verser l'eau à une certaine température, un changement de temps vient modifier subitement les conditions de son entourage, son travail est compromis. Notons bien que la température réalisée au sein d'une pâte au moment du pétrissage est difficile à modifier par la

suite. Si elle a été réalisée trop chaude elle le restera tout le long de la fermentation principale ; il en est de même pour une pâte faite trop froide. La pâte est en effet un mauvais conducteur comme la farine d'ailleurs aussi (14). En ce qui concerne l'emmagasinage, la farine doit être préservée de la chaleur et de l'humidité. Ainsi les farines mal conservées fermentent rapidement. Toute farine, aussi propre qu'elle soit, est infectée de nombreux micro-organismes ayant vécu sur le grain de blé et sur les grains brisés surtout, l'amande farineuse mise à nu présente un champ de développement par excellence à la microflore. La farine, dans certaines conditions, possède suffisamment d'humidité et il suffit donc que la température soit favorable pour donner lieu aux divers phénomènes hydrolytiques, voir diastasiques, protéolytiques et autres. Les divers champignons en se développant communiquent aux farines le plus souvent une odeur de moisi. Nous venons de voir le rôle considérable que joue la température aussi bien pour la panification que pour la conservation de la farine.

Dans notre étude de la saccharification diastasique en fonction de la durée de digestion nous avons vu que la quantité de sucre réducteur préexistant était très faible dans la farine qui avait servi à nos essais. La production de sucre est rapide au début, c'est-à-dire pendant les 2 premières heures, et diminue petit à petit à petit d'intensité. Sans vouloir nous lancer dès maintenant dans des calculs, il semble qu'une proportion de 2 à 3 kgs de maltose pour 100 kgs de farine puisse déjà suffire à produire un volume d'acide carbonique de fermentation suffisant à faire lever convenablement une pâte. Nous allons voir d'abord quelles peuvent êrte les valeurs en sucre obtenues avec des farines de provenance et de composition absolument différentes. Pour cela il suffirait de comparer entre elles les valeurs de sucre obtenues par exemple au bout de 2 heures de saccharification. Cependant, pour mettre davantage en évidence l'allure du phénomène, nous allons suivre l'hydrolyse diastasique sur une échelle de temps qui correspond largement au processus de panification le plus

lent. Nous suivrons donc la saccharification pendant 6 heures ; au-delà de cette durée, les essais n'ont plus de raison d'être pratiquement et les résultats deviennent alors aussi de plus en plus incertains à la suite de phénomènes de fermentation spontanée due à la présence dans les farines de divers micro-organismes. La saccharification diastasique d'une farine devra être utilement représentée par une courbe et non par une seule valeur. Ces courbes pourront être développées avec une précision suffisante en dosant le sucre réducteur préexistant, le sucre formé au bout de ¼ d'heure, de 2 et de 6 heures. Nous avons constitué deux tableaux complets sur lesquels sont portées, en plus des valeurs diastasiques, les principales autres données analytiques, ce qui permettra de voir si la saccharification diastasique est tout à fait indépendante des autres facteurs qui caractérisent une farine ou s'il existe une relation entre elle et ces facteurs. Dans un premier tableau, nous réunissons les données obtenues sur des farines livrées au commerce et dans un autre tableau nous noterons nos essais sur des farines d'étude faites avec des blés purs de provenance diverse. Pour les farines de fabrication, nous indiquerons en plus leur humidité, le gluten humide et sec, le pH de leurs extraits et les constantes plastiques de leurs pâtes déterminées à l'extensimètre Chopin. Mêmes comparaisons pour les essais sur les blés purs avec indication de leur poids spécifique.

On trouvera en appendice la description complète de l'extensimètre Chopin et de son fonctionnement.

Pour l'interprétation de la valeur d'une farine à l'extensimètre Chopin il faut tenir compte à la fois de la pression, du gonflement et du W. Connaissant la valeur extensimétrique d'une farine donnant satisfaction à la boulangerie, il devient donc facile au meunier de corriger sa mouture en étudiant au préalable les divers blés séparément et de les mélanger dans les proportions nécessaires à l'obtention du type de diagramme qui donne satisfaction.

A titre d'indication, nos blés de nature plutôt humide donnent des diagrammes de W compris entre 15 et 120, alors que certains blés étrangers vont jusqu'à 350. Le gonflement

moyen de blés sains est de G = 20 environ avec une échelle qui s'étend de G = 10 (blés et farines de mauvaise qualité ou avariées) à G = 28. L'échelle des pressions comptées en $^{m}/_{m}$ d'eau peut s'étendre de 15 à 100 et au-delà parfois.

De par son principe même cet appareil n'enregistre que la plasticité de la pâte qui résulte des propriétés physico-chimiques des divers constituants. Théoriquement cet appareil n'exprime donc qu'une part de la totalité des facteurs qui déterminent la valeur boulangère réelle. L'appareil ne peut par exemple enregistrer l'aptitude d'une farine à engager une bonne fermentation. Il mesure enfin, et nous insistons là-dessus, la qualité plastique de la pâte à la température ordinaire alors que le gonflement panaire s'achève au four sous l'action de la température toujours croissante. Vu l'énorme diversité rencontrée dans la composition des blés, il est possible que selon la nature physique et chimique de la partie azotée principalement, l'élasticité constatée à basse température puisse se modifier de façon imprévue au four par des avances ou des retards dans la coagulation. Il y a en effet pour les diverses substances azotées de la farine non pas une seule température de coagulation mais toute une zone à travers laquelle se fait la dénaturation des principes azotés. Ainsi avons-nous déjà eu l'occasion de voir le Chopin en contradiction avec les résultats obtenus à l'essai de panification dûment contrôlé. Nous tenons cependant à insister sur les réels services que nous rend cet appareil, et après 6 années d'utilisation, nous prétendons qu'il traduit les 8/10^{e} au moins de l'ensemble des propriétés qui déterminent la valeur boulangère. Même en voulant exagérer l'importance des autres facteurs — que nous ne croyons pas susceptibles de grosses variations pour les farines saines — on devra admettre l'utilité de cette sorte de mesures. Il ne faut pas oublier que la plasticité d'une pâte dépend intimement de la composition des divers constituants. Aussi croyons-nous que la plupart des farines considérées par certains comme étant mauvaises à la fermentation pêchent plutôt par leur inaptitude à retenir l'acide carbonique ; or une pâte qui ne retient pas les gaz pêche uniquement par ses

mauvaises qualités plastiques. Nous croyons que de nombreux chercheurs ne commettraient semblable interprétation tout à fait erronée s'ls avaient à leur disposition un appareil d'une mise au point aussi parfaite que l'extensimètre Chopin.

Connaissant maintenant les principaux moyens de contrôle, nous allons examiner le premier tableau (p. 63) dans lequel nous avons réuni un grand nombre de farines du commerce provenant de petits et de grands moulins français. Parmi ces farines, il y en a qui proviennent d'un mélange de blés français et étrangers; d'autres sont faites avec des blés de pays purs ou entièrement avec des blés étrangers. Certains blés étrangers dits de force donnent des farines de meilleure valeur boulangère; elles sont employées soit à l'état pur soit pour renforcer des farines de faible plasticité. Il suffit de jeter un coup d'œil sur les constantes plastiques des Manitoba, Plata, Hard Winter et Russe (p. 64) pour voir qu'ils se distinguent nettement de nos blés de pays dont l'avantage meunier réside plutôt dans la blancheur et le haut rendement en farine. Abstraction faite des farines avariées, il résulte de l'examen de ce tableau des variations assez restreintes dans la saccharification diastasique, malgré la grande diversité de leur provenance et de leur composition, contrairement aux grands écarts dans la teneur en gluten et à ceux de l'extensimètre Chopin. L'humidité ne varie que très faiblement aussi ; certaines valeurs sont même assez basses et proviennent de la dessication qu'a subi l'échantillon de farine pendant son envoi. Le taux d'humidité des farines varie généralement entre 14 et 16 %. Les farines dans l'ensemble peuvent être considérées comme saines et nous ne voyons par conséquent pas varier considérablement le pH de leurs extraits aqueux. La zone de pH des farines saines et panifiables est comprise entre 6,2 et 5,85. On étudiera le tableau dans n'importe quel sens, rien ne permet de rapprocher une farine d'une autre ; nous voyons tantôt une farine à haute teneur en gluten et de bonne plasticité avec un faible pouvoir diastasique et inversement. La quantité de gluten n'est donc pour rien dans les phénomènes diastasiques. Si nous prenons les farines extrêmes, le sucre formé au bout de 6

ETUDE COMPARATIVE DES FARINES DU COMMERCE

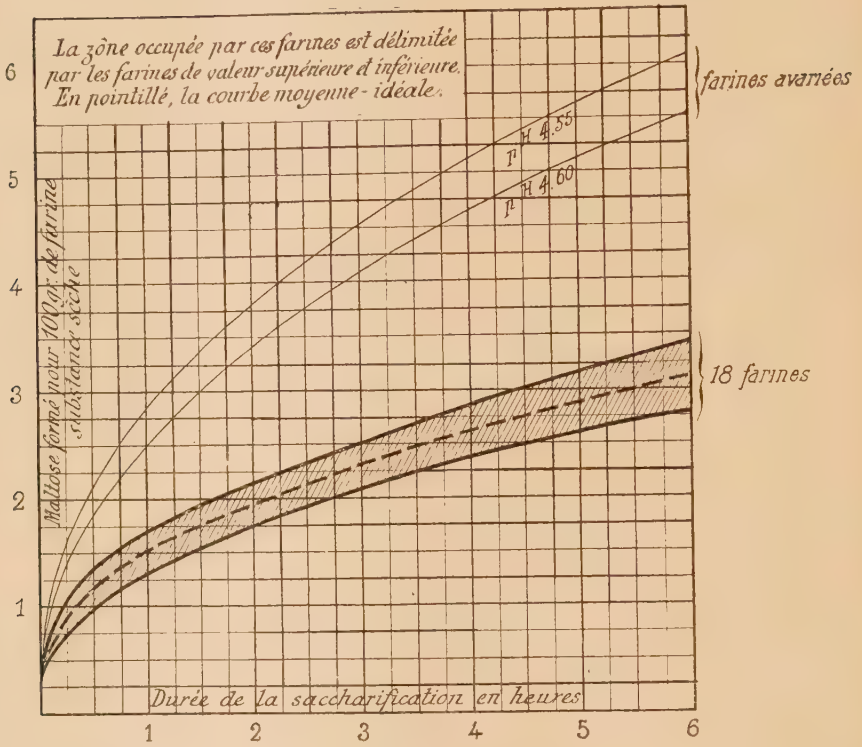
PROVENANCE ET COMPOSITION	Humidité	GLUTEN		pH de l'extrait	SUCRE DIASTASIQUE				EXTENSIMÈTRE CHOPIN		
		humide	sec		préexistant	1/4 d'H	2H	6H	P	G	W
N° 1 Farine d'Alsace	14.9	31.0	10.05	6.15	0.32	0 92	1.95	3.19	51	20.6	133
2 » region parisienne	14 8	26.5	9.15	5.90	0.33	0.86	1.87	3.18	42	21.0	103
3 » du Centre (blés de pays purs)	15 5	21.6	8.75	6.05	0.34	0 90	1.86	2 98	36	19.7	80
4 » de l'Est (blés de pays)	15.2	25.5	9.00	5.90	0.40	1 13	1.98	3.04	44	19.5	105
5 » d'Alsace	13.8	30.15	10.9	5 85	0.34	0.89	1.97	3.21	56	20.3	128
6 » de la Haute Saône	13.7	24.3	8.5	5.9	0.36	0.87	1.74	2.80	48	18.0	108
7 » du Nord	14.8	28.2	10.5	6 15	0.31	0.88	1.92	3.07	36	19.9	82
8 Farine de Force (100 % de blés étrangers	14.3	32.1	10.6	6.10	0.28	1.10	1.92	2.75	71	21.0	220
9 Farine (80 % de blés de pays)	15.1	28.2	9.25	6 05	0.34	0.96	2.06	3.26	46	20.7	105
10 Farine d'Alsace	14.0	33.6	12.15	5.95	0.32	0.93	1.85	2.91	72	19.3	179
11 » de Force (100 % de blés étrangers)	14 3	28.7	10.2	6.0	0.28	1.03	1.88	2.75	64	20.9	177
12 Farine du Sud-Ouest	14.1	28.6	10.1	6.05	0.34	1.00	1 90	2.80	51	19 3	115
13 » du Midi	13.3	28.6	10.9	5 95	0.35	1.05	1.96	2.95	72	18.9	156
a) Farine avariée	15.1	21.0	7.05	4.8	0.30	1.66	3 94	6.05	60	13.7	91
b) Farine avariée	14.7	21.7	8.16	5.05	0.37	1.43	3 45	5.53	56	13.6	81
c) Farine très avariée par mouillage	16.2	20.7	6.45	6.40	0.32	0 72	1.76	3.52	52	13.5	76
Farine de seigle pure	13.5	·/.	·/.	·/.	0.38	1.00	1.88	2.94	·/.	·/.	·/.

PROVENANCE	Eau	Poids spécifique	GLUTEN		pH de l'extrait	SUCRE DIASTASIQUE				Dextrines et non-réducteurs	EXTENSIMÈTRE CHOPIN		
			humide	sec		préexistant	1/4 d'H	2H	6H		P	G	W
Meuse	15.1	76.4	31.6	10 0	6.10	0.38	1.11	2.29	3.52	2.23	45	18.0	87
Nord	16.3	75 7	29 0	9.3	6.10	0.40	1.02	2.20	3.40	1.77	24	19.5	53
Russe du Sud	13.3	79.5	36.0	12.75	6.05	0.34	1.22	2.16	3.34	2.26	53	22.6	174
Marne	16 1	78.6	28.2	10.2	6.05	0.42	1.24	2.10	3 15	2.03	44	20.2	91
Meurthe et Moselle	15.8	76.7	27.6	9.45	6.10	0.42	1.24	2.12	3 15	2.45	42	20 3	88
Côte d'Or	15.3	76.7	27.6	9.80	6.10	0.34	1.10	1 92	3.05	1.88	45	19 9	89
Meurthe et Moselle	16.2	77.0	26.8	9.15	6 00	0.36	1.16	1.97	3 04	2.12	37	19.7	76
Aube	14.6	75.2	23 1	7.74	6.15	0.40	1.11	1 96	3.00	2.40	50	17 6	78
Hard Winter Golf	12.3	80.5	29.4	11.80	6 05	0.36	1 27	1 94	2.92	2 24	39	20 2	80
Hard Winter Pacifique	9.0	77.0	24 9	8.55	6.15	0 36	1 28	2.10	2.84	2.98	68	15.8	118
Yonne	15.3	75.0	26.1	9.24	6 05	0.35	0 80	1.70	2.70	2.10	44	19.5	109
Manitoba	13.6	78.6	33.0	11 0	6.00	0.26	0.89	1 84	2.60	2 81	87	21.4	234
Plata-Bahia Blanca	10.5	77.9	39.8	13.8	5.95	0.43	1.06	1.86	2.57	2.63	69	21.0	168
Drôme	11.8	81.0	32.0	10.15	6.0	0.39	1.15	1.90	2 56	2 68	31	15.6	42
Plata Barusso	12.1	77.3	34 8	12.0	6.15	0.30	0.70	1.48	2.39	2.46	48	20	116
Algérie	11 1	81.3	34.8	10.65	5.95	0.30	0 73	1.39	2.01	2.62	32	16.7	48
Australie	10.0	79.1	33.0	11.4	5.95	0.28	0.78	1.39	2.00	1 93	51	21.6	94
Aude (Tuzelles)	10.8	80.2	25.0	8.25	5 90	0.28	0.77	1.35	1.74	1.80	14	12.4	12
Indes-Kurachee	9.0	80.2	31.0	11.05	6.10	0.29	0.75	1.41	2 09	2.27	57	14.8	118
Amber-Durum													
Blés de pays fortement échauffés	17.8	73.7	12.6	4.8	5.95	0.90	1.27	2.05	3.02	2.12	53	10.8	47
Blés de pays 8 % de grains échauffés	17.2	74.9	23.6	8.36	5.95	0.73	1.33	2.20	3 35	2.24	70	14.2	106
Blés de pays 7 % de grains germés	16.8	74.2	23.4	8.16	5.90	0.59	1.90	3.85	5.43	·/.	26	20.6	55
Blés de pays 4 % de grains germés	17.2	74.4	21.6	7.60	6.00	0.59	1.46	3.00	4.47	·/.	26	19.0	54

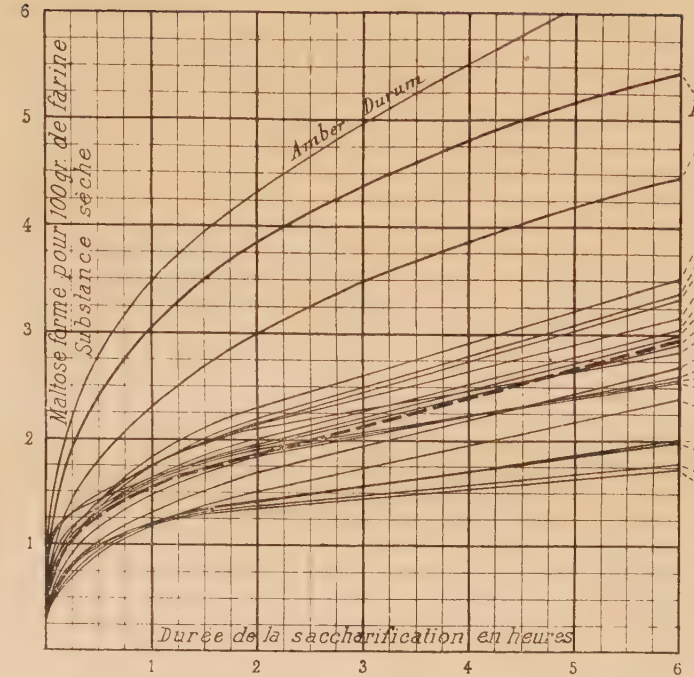
heures est de 3,26 gr. pour l'une contre 2,75 gr. pour l'autre, soit un écart de 18 % par rapport à la farine du plus bas pouvoir diastasique. A priori nous ne croyons pas qu'une variation de cet ordre soit susceptible d'intervenir dans la fermentation panaire. Vu la diversité des farines étudiées tant comme provenance que comme composition, il est permis de considérer les valeurs moyennes en sucre comme représentant le pouvoir diastasique moyen idéal duquel devront se rapprocher les farines le plus possible. La valeur moyenne du sucre au bout de 6 h. est de 3 gr. Les écarts maximas de nos deux farines extrêmes par rapport à la moyenne se rétrécissent donc à 9 % environ. Il est certain que des variations de cet ordre ne peuvent entraver d'aucune façon la marche normale de la fermentation et d'autres facteurs devront être obligatoirement la cause de la mauvaise valeur boulangère de certaines farines.

Le graphique de la page 66 représente l'ensemble des courbes de saccharification. Il nous a été impossible de tracer les diverses courbes une par une, nous nous sommes donc borné à indiquer seulement la zone occupée par l'ensemble, délimitée par les farines à valeur la plus basse et la plus haute avec, en pointillé, la courbe moyenne idéale. Avec la majorité de ces farines nous avons procédé à l'essai de panification sur une quantité de 10 kg. Nous avons comparé surtout les farines 7 et 9 de valeur diastasique élevée avec les farines 8 et 11 de valeur basse. Les quatre farines ne présentaient aucune différence remarquable en ce qui concerne la vitesse de fermentation ; quant à l'aspect des pâtes, celles des farines 7 et 9 poussaient plat alors que celles des farines 8 et 11 poussaient bien rond. Le pain était plutôt médiocre, moins rond et crevassé avec les premières ; il était de bel aspect et de plus grand volume pour les autres. Et cependant les farines 8 et 11 sont les plus pauvres en sucre diastasique ; à quoi alors tient cette différence de volume, du moment que les farines 7 et 9 pouvaient par leur richesse en sucre produire plutôt plus de gaz carbonique que les autres ? Il suffit de jeter un coup d'œil sur les constantes plastiques de ces farines

Etude comparative des farines du commerce



obtenues à l'extensimètre Chopin pour nous rendre compte de l'infériorité de la farine 9 et de celle de 7 plus particulièrement par rapport aux deux autres. Le travail de déformation est pour 7 et 9 : W = 82 et 105 alors qu'il est pour 8 et 11 de 220 et 177, variations allant du simple au double. La différence des volumes des pains provient donc surtout de la plasticité différente des pâtes ; il ne suffit pas, en effet, qu'une farine dégage plus ou moins de gaz carbonique à la fermentation, il faut avant tout aussi que le pouvoir de rétention de la pâte soit bon. La pâte de la farine 9 manque de charpente (traduite par une faible pression au Chopin). Au fur et à mesure qu'elle se remplit de gaz, elle ne peut le



Provenance des blés et leur humidité naturelle

	Humidité	Sucre préexistant	1/4 d'heure	2 heures	6 heures
Blé de Pays 7% de grains germés	17.50 %	0.60	1.90	3.85	5.43
Blé de Pays 4%	17.35	0.60	1.46	3.00	4.47
Meuse	14.45	0.38	1.11	2.30	3.52
Nord	16.40	0.40	1.02	2.20	3.40
Russe	13.30	0.34	1.22	2.16	3.34
Marne	16.10	0.42	1.24	2.15	3.15
Meurthe et Moselle	16.00	0.36	1.15	2.00	3.05
Aube	14.60	0.40	1.11	1.96	3.00
Hard Winter Golf	12.30	0.36	1.28	1.94	2.92
Hard Winter Pacifique	9.15	0.36	1.28	2.10	2.84
Yonne	15.40	0.35	0.80	1.70	2.70
Manitoba	13.60	0.25	0.89	1.84	2.60
Plata Bahia Blanca	10.54	0.43	1.06	1.86	2.57
Drôme	11.80	0.39	1.15	1.90	2.56
Plata Barusso	12.15	0.30	0.70	1.50	2.40
Algérie	11.10	0.30	0.73	1.39	2.01
Australie du Sud	10.04	0.28	0.78	1.40	2.00
Indes Kurrachée	9.05	0.28	0.79	1.37	1.77
Aade (Tuzelles)	10.84	0.28	0.77	1.35	1.74

Etude comparative des blés

retenir convenablement, puis une fois mise au four, au lieu de pouvoir céder à la dilatation des gaz par la chaleur en augmentant de volume, elle crevasse en laissant échapper la majorité de l'acide carbonique. Les pâtes des farines 8 et 11 retiennent déjà pendant la fermentation la presque totalité des gaz et cèdent à leur pression au four en pouvant se dilater par l'excellence de leurs qualités plastiques. Nous avons eu trop souvent l'occasion de faire de semblables constatations sur les farines à forte teneur en blés de pays humides à pouvoir diastasique plutôt élevé comparées aux farines de force provenant de blés à pouvoir diastasique faible. Ce sont toujours les farines de force qui donnent les pains les plus développés, rarement crevassés à leur surface et nous engageons ceux qui ne seraient pas de notre avis à mesurer l'acide carbonique dégagé d'une pâte en fermentation pour constater que les pâtes fragiles manquant de corps et de souplesse dégagent régulièrement plus de gaz que les pâtes de qualité provenant de farines de blés de force à pouvoir diastasique plutôt faible. Il ne faut donc pas vouloir considérer l'inertie d'une pâte à la fermentation et au four surtout comme étant due à l'absence de qualités fermentatives.

Passons tout de suite à l'étude des blés qui nous fourniront sans doute d'utiles indications. Rappelons encore le but de cette étude. Les farines livrées par les meuniers et par la grande meunerie surtout proviennent généralement de blés de nature différente. Ces farines résultent donc presque toujours d'un mélange de blés indigènes et de blés étrangers. De par ces coupages, les caractères propres à une espèce sont partiellement effacés ou contrebalancés par les autres. Nous avons donc voulu examiner les qualités diastasiques des blés purs. Pour cela nous nous sommes adressés à des lots de blés de provenance aussi diverse que possible. La farine est préparée dans les conditions déjà indiquées : mouture directe des blés d'humidité comprise entre 14,5 et 17 % ; conditionnement préalable des blés durs et secs pour les ramener au taux de 15 % environ ; extraction de la farine à 50 % au tamis de soie N° 12. Notons aussi que les résultats de

ce tableau ne représentent pas du tout des valeurs moyennes de blés pour une région. Nous avons choisi les lots sans aucune distinction ; on ne devra donc pas vouloir classer la valeur des blés des différents départements d'après ce tableau. Notre but a été de nous adresser, les yeux fermés, à des blés tout à fait étrangers les uns des autres et par la distance, par la nature des semences, la nature du sol et les conditions climatériques. Nous plaçant ainsi dans des conditions tout à fait extrêmes, il nous sera permis de raisonner sur les différentes valeurs obtenues. En plus du sucre diastasique on trouvera dans une colonne la quantité d'hydrates des carbone solubles non réducteurs que nous avons dosés de la façon suivante : nous avons soumis 25 cm³ de la liqueur centrifugée, provenant du dosage du sucre réducteur préexistant, à la saccharification acide au bain-marie pendant 2 heures. Dosage du sucre obtenu comme glucose, déduction du sucre préexistant (en équivalent maltose), le restant étant exprimé en dextrines (coef. 0,94) pour 100 parties de farine substance sèche. Nous avons ainsi voulu nous rendre compte de la réserve hydrocarbonée existant dans les farines pouvant alimenter la levure sous forme de sucres autres ou sous forme de dextrines préalablement transformées en maltose.

Dans le graphique de la page 67 nous avons porté les courbes de saccharification de l'ensemble des blés examinés. En faisant en attendant abstraction des blés germés et du blé « Amber Durum », on constate que le faisceau des blés est bien moins serré que celui que nous avons obtenu sur les farines de fabrication. L'humidité des divers blés varie dans de très fortes proportions; elle est comprise entre 9 % pour les blés des Indes et 17 % pour nos blés indigènes. Les glutens présentent aussi des variations importantes, quant au pH celui-ci est compris, comme pour les farines, entre 5,85 et 6,20 L'extensimètre Chopin nous accuse incontestablement les plus fortes variations. La pression allant de P = 14,5 $^{m}/_{m}$ à P = 87 $^{m}/_{m}$ et le W de 12 à 234.

La zone des sucres diastasiques est délimitée par les blés d'Australie et des Indes comme plus bas (2 gr. en 6 heures)

et les blés de la Meuse et du Nord comme plus hauts (3,52 gr. en 6 heures). L'écart est de 76 % par rapport aux blés de faible valeur, écart 4 fois plus fort que celui que nous avions trouvé sur les farines du commerce qui n'était que de 18 %. Cette différence peut certes déjà compter et mérite de retenir l'attention dans l'évaluation des qualités diastasiques des farines pures provenant de certains blés. Si l'on compare maintenant les humidités naturelles de ces blés, on constate d'une façon générale que les blés les plus secs (Indes 9 %, Australie 10 %, Algérie 11 %) sont les plus pauvres en sucre diastasique alors que les blés les plus humides sont les plus riches (Meuse, 15, 1 %, Nord 16, 30 %). Leurs qualités plastiques les classent sans exception en bas de l'échelle. Nous pouvons donc, les considérant comme types extrêmes, tracer comme pour les farines la courbe de saccharification moyenne. Celle-ci correspond très sensiblement aux blés donnant des farines satisfaisantes à tout point de vue. L'effort du meunier devra donc tendre le plus possible vers le rapprochement de cette valeur normale, et les écarts par rapport à elle ne pourront représenter que 35 % au maximum. Il est intéressant de comparer entre elles les courbes de saccharification moyennes des farines avec celle des blés; on voit qu'elles se superposent pratiquement. Cette coïncidence est d'autant plus heureuse qu'elle démontre d'abord que la meunerie moderne tend de plus en plus à produire des farines de même composition en choisissant des mélanges de blé en conséquence. L'expérience lui ayant appris à choisir parmi les blés de qualité, a conduit à retrécir de plus en plus la diversité dans les propriétés des farines. Il est naturellement certain que selon la proportion de blés de même nature employés dans un mélange ou dans le cas de l'emploi d'une seule espèce, les qualités diastasiques des farines pourront se trouver assez éloignées l'une de l'autre. Il nous est cependant permis d'admettre qu'il n'y ait aucun meunier moderne qui écrase des blés des Indes purs, voire même des blés australiens ou algériens. Ils n'ont même pas besoin d'un extensimètre pour s'assurer des qualités plastiques médiocres de leurs pâtes. Si ces blés possèdent l'avanta-

ge d'être très secs et se prêtent par conséquent à un mouillage copieux, cela constitue à peu près la seule raison de leur présence dans un mélange. Il en est de même pour les blés à pouvoir diastasique élevé; c'est le cas des blés tendres, humides. L'ensemble de nos blés indigènes humides possède généralement des qualités diastasiques plutôt supérieures à la moyenne. Celà ne peut trop nous étonner, la présence dans le grain d'une certaine quantité d'eau, et son état plutôt spongieux prête plus facilement à des phénomènes de diffusion que dans les blés très secs où la matière est très condensée. L'eau d'ailleurs est un des principaux facteurs qui provoque la germination. En ce qui concerne leur utilisation à l'état pur par la meunerie, nous n'en pouvons dire autant que pour les blés indiens par exemple. Les petits moulins les écrasent généralement à l'état pur, mais cela ne veut pas dire que les farines sont de première qualité boulangère. Qualité et quantité de gluten sont le plus souvent insuffisantes, les pâtes généralement médiocres au Chopin, il suffit de corriger leur plasticité en les renforçant par des blés de force pour obtenir du pain d'aspect satisfaisant.

Quels sont les résultats de panification obtenus généralement avec les farines de blés purs indiens, algériens d'une part et de blés de notre type Nord et Meuse d'autre part ? Les pâtes fermentent dans l'essai pratique avec une rapidité sensiblement identique (à condition de ne pas les faire fermenter dans des cylindres en verre très hauts et très étroits comme procèdent certains pour conclure de cet essai de laboratoire sur la qualité fermentative). On constatera cependant que les pertes en acide carbonique pendant la fermentation sont considérables aussi bien pour les pâtes de farine à forte saccharification que pour les pâtes à faibles saccharification. Les volumes de pain restent inférieurs dans les deux cas comparés aux pains obtenus par des farines au pouvoir diastasique moyen mais de bonne qualité plastique. Nous faisons ici les mêmes constatations que nous avons faites sur les farines du commerce, la faculté des pâtes de retenir les gaz de fermentation étant la principale condition d'obtention de pain de

grand volume. Nous considérons donc les qualités diastasiques d'un Manitoba ou d'un Hard Winter comme largement suffisantes, leur pain est volumineux et léger, la mie est fine. S'il y a donc lieu de corriger une farine donnant du pain insuffisamment développé, c'est la plasticité généralement défectueuse et que l'on doit corriger pour retenir davantage à la fermentation et au four l'acide carbonique produit en quantité certainement suffisante.

Etude pratique des facteurs qui agissent sur la saccharification diastasique

Quantité et qualité des diastases. — Ayant examiné le tableau des blés, on doit se demander quelles peuvent être les causes qui déterminent les variations assez sensibles dans la saccharificaton diastasique des farines. Nous pouvons déjà admettre qu'un blé et par conséquent la farine qui en résulte soit plus ou moins riche en diastases. D'autre part l'on peut admettre aussi que pour des farines et des blés de même activité diastasique l'action hydrolytique éprouve plus ou moins de facilité ou de difficulté suivant la structure de l'amidon. Nous avons déjà eu l'occasion d'attirer l'attention sur l'mportance de la structure des particules de farine suivant les blés pour l'évaluation de la valeur fermentative d'une farine dans notre note sommaire parue dans le journal de la meunerie française (août 1928).

Voyons d'abord la première des questions à savoir si des extraits préparés exactement dans les mêmes conditions mais l'un provenant d'une farine apparemment douée de faible pouvoir diastasique et l'autre d'une farine à P. D. élevé sont susceptibles de produire dans l'unité de temps des quantités de sucre variables quand on les met en contact avec une suspension d'amidon.

Voici comment a été préparé cet amidon. Pour obtenir

de l'amidon aussi pur que possible nous avons choisi à l'usine une farine de convertissage de semoule provenant d'un passage qui travaille rigoureusement les produits de cœur de l'amande farineuse ; ces produits sont pratiquement exempts de particules périphériques soit enveloppes ou assise protéïque. Les opérations de la séparation du gluten sont les mêmes que pour le dosage du gluten lui-même : lavage du pâton sous un filet d'eau en recueillant les eaux amylacées dans un récipient muni d'un tamis fin en soie pour retenir les grumeaux de gluten. Centrifugation des eaux contenant l'amidon en suspension. L'amidon déposé au fond du récipient présente pratiquement deux couches ; celle du fond est bien blanche, la couche du dessus est légèrement colorée en jaune et contient des particules plus ou moins légères de par leur hydratation et tous les débris. La couche supérieure est enlevée et supprimée et la couche inférieure bien blanche est remise en suspension avec de l'eau distillée. Cette remise en suspension constitue un lavage des globules d'amidon. Nouvelle centrifugation, élimination des quelques débris étrangers, remise en suspension dans l'eau suivie de centrifugation, etc... Nous avons procédé ainsi 6 fois de suite dans le but d'éliminer tout ce qui est azote soluble et sels minéraux. L'amidon ainsi obtenu est mis à sécher à température ordinaire dans un dessicateur à travers lequel on fait passer un courant d'air sec. Nous avons contrôlé l'absence dans cet amidon de toute trace de diastases par un dosage au Fehling après avoir soumis une suspension de 20 gr. de cet amidon pendant 3 heures à 35° à l'autolyse. Cet amidon provenait d'une mouture de 100 % de blés indigènes.

Pour étudier les différences pouvant exister dans l'activité diastasique des diverses farines, nous avons choisi deux blés de valeur assez éloignée mais ayant, en les cassant, une amande absolument farineuse. Nous les avons choisis également d'une teneur semblable en substances amylacées solubles non réductrices, pour avoir la certitude que le sucre diastasique formé ne puisse provenir que de notre suspension d'amidon et non de la saccharification de substances amyla-

cées solubles provenant des farines qui ont servi à faire les extraits actifs. Voici les deux blés auxquels nous nous sommes adressés :

	Humidité	pH	Maltose en 6 heures	Dextrines etc.
Nord	16,3	6,10	3,40	1,77
Australie	10,0	5,95	2,00	1,93

Les extraits actifs ont été préparés en faisant digérer une suspension de farine pendant 24 minutes exactement à 20° dans le récipient placé sans transvasement préalable dans le centrifugeur ; durée de la centrifugation 6 minutes. Prélèvement d'une partie de cet extrait actif mis en contact avec une suspension d'amidon pur, l'ensemble étant maintenu à 20° pendant 3 heures. D'autre part il a été placé une autre partie du même extrait dans un volume d'eau égal à celui de la suspension d'amidon, cet ensemble étant également maintenu à la même température pendant 3 heures, cette dernière opération devant servir d'essai à blanc pour doser le sucre diastasique qui se serait formé encore au bout de 3 heures dans l'extrait pur aux dépens des matières amylacées solubles non réductrices. Déduction faite du sucre existant dans cet essai à blanc, le surplus de sucre ne pouvait se former qu'aux dépens de la suspension d'amidon. La saccharification est arrêtée par quelques gouttes de soude pour l'essai proprement dit comme pour l'essai à blanc. Les mêmes essais ont été faits 2 fois ; en voici les détails :

	Maltose essai à blanc	Maltose total	Maltose d'amidon
Extrait blé du Nord.....	25 mgr.	42 mgr.	17,0 mgr.
Extrait blé Australie	13 mgr.	24 mgr.	11,5 mgr.

L'extrait provenant de 100 gr. de farine de blé du Nord produisait 0,82 gr. de maltose aux dépens de l'amidon de la suspension alors qu'un même extrait de farine de blé d'Aus-

tralie dans les mêmes conditions n'en produisait que 0,56 gr. Comme il avait été tenu compte dans les calculs du maltose ayant pu se former aux dépens de dextrines de l'extrait même, ce restant de sucre ne pouvait provenir que de la saccharification de la suspension d'amidon. L'écart entre ces deux essais est faible, il est vrai, mais il démontre néanmoins la richesse ou l'activité plus ou moins grandes des substances douées de propriétés diastasiques contenues dans la farine des diverses espèces de blé. Trouverons-nous parmi nos données analytiques l'explication de ce fait ? Nous ne croyons pas que ni la quantité de gluten ni sa qualité puissent nous donner l'explication, le gluten sec le gluten humide sont plutôt plus important dans le blé le moins diastasé, et cependant, c'est bien aux substances azotées que l'on attribue généralement les propriétés hydrolytiques. Les pH sont aussi trop rapprochés les uns des autres et la valeur de 5,95 de l'Australie devrait plutôt favoriser la vitesse de la saccharification. Les qualités plastiques n'entrant pas en ligne de compte, il nous reste à étudier l'humidité naturelle des deux blés. Le blé d'Australie ne fait que 10 % d'humidité alors que le blé du Nord en contient 16,3 %. Dans l'échelle habituelle des blés ces valeurs se classent sensiblement aux deux extrémités. En étudiant dans notre tableau de plus près les valeurs diastasiques comparées aux humidités, on constate dans les grandes lignes que les blés les plus humides produisent le plus de sucre diastasique, se classant en tête du tableau ; en descendant nous trouvons les humides mélangés à de moins humides pour trouver tout en bas les blés à la fois pauvres en humidité et en sucre diastasique. Nous avons déjà eu l'occasion d'insister sur le rôle très important que joue l'eau dans le grain de blé au repos. La teneur du grain en humidité est nécessairement élevée avant la maturation, les matériaux de réserve ne pouvant être amenés que sous forme liquide dans le grain en formation. Pendant la maturation il se produit une espèce de dessication ou de deshydratation incomplète qui arrête l'ensemble des réactions qui se passent à l'intérieur du grain. Il est possible que selon les effets de la

température cette deshydratation puisse être plus ou moins poussée et agir par conséquent sur l'activité diastasique. D'autre part il faut de l'eau pour qu'il y ait germination, et il est certain qu'il se passe à l'intérieur du grain de blé très humide, par suite de la possibilité d'une plus grande mobilité, certains échanges entre le germe, siège principal des phénomènes diastasiques, et l'amande farineuse. Il suffit pour cela de comparer dans le tableau des blés les divers taux d'humidité avec les valeurs diastasiques correspondantes. Or, la teneur en humidité de nos blés de pays peut varier dans de très fortes proportions suivant les conditions climatériques ; ainsi avons-nous rencontré de très nombreux lots de blé des récoltes 1926 et 1927 qui faisaient 17, 18 jusqu'à 19 et 20 % d'humidité. Il est alors très courant de trouver des blés plus ou moins germés. L'emmagasinage des blés humides était tout à fait délicat, en moins de 15 jours souvent la température s'élevait à l'intérieur de la masse, phénomène dû aux réactions qui se passaient dans le grain et à sa surface. Nous avons étudié deux lots de blés contenant l'un 4 et l'autre 7 % de grains germés. Il suffit de comparer les résultats obtenus avec les autres blés, sachant qu'il n'y a point de limite marquée qui sépare les uns des autres, pour admettre que certaines valeurs élevées en sucre diastasique puissent provenir d'un enrichissement de l'amande farineuse en diastases dû à des échanges qui se sont faits à l'intérieur du grain après la récolte, et dont la teneur en eau est trop élevée pour immobiliser complètement les réactions internes.

En ce qui concerne l'action directe de la chaleur solaire sur l'activité diastasique au moment de la maturation des blés très humides, elle n'est certainement pas la même que sur les blés poussant plus secs, les calories étant surtout utilisées pour évaporer l'eau. Il n'en est pas de même pour les blés qui poussent en pays secs et chauds. La maturation est d'abord bien plus rapide et plus complète et détermine ainsi une deshydratation presque excessive qui peut agir sur la nature même des diastases. La grande siccité enfin supprime pratiquement toute manifestation vitale à l'intérieur du grain.

On peut sans danger aucun conserver ces blés en silo même pendant des mois après lesquels on les y retrouvera sans constater de changement appréciable.

D'après ce que nous venons de voir nous pouvons nous expliquer les variations dans la richesse en diastases et la qualité des farines, selon qu'elles proviennent de blés très humides ou de blés très secs. La quantité de sucre produite dans une farine dépend donc de la quantité de diastases ou de la qualité des substances douées de propriétés diastasiques.

Influence de l'amidon sur la production de sucre diastasique

Nous avons déjà eu l'occasion de faire allusion au rôle qu'est susceptible de jouer l'amidon dans la saccharification selon qu'il provient de blés tendres ou durs. En dehors des substances amylacées solubles qui ne se trouvent qu'en faible quantité dans les farines, le maltose diastasique ne peut se former qu'aux dépens de l'amidon. Or, l'amidon dans une pâte de farine se trouve à l'état globulaire difficilement attaquable par l'amylase. Etant données les conditions essentiellement différentes dans lesquelles poussent les blés suivant les pays et leur climat, on peut supposer que la résistance opposée à la dislocation par une particule de farine ou par les globules d'amidon peut être plus ou moins grande. Il suffit en effet d'avoir cassé sous la dent un grain de blé de pays tendre et un grain de blé dur du type Algérie-glacé, pour justifier cette supposition. Au moulin déjà ces deux sortes de blés se comportent de façon tellement différentes qu'elles exigent des traitements préalables tout à fait différents Les blés tendres s'effritent sans difficulté alors que les blés durs manifestent leur résistance en fournissant des produits plus ronds et semouleux. La cassure d'un blé dur est vitreuse, les particules de l'amande paraissent plus condensées et soudées plus intimement les unes aux autres, alors que le blé tendre présente une cassure franchement fari-

neuse presque sans cohésion. Ici encore il n'existe pas de limites marquées entre les durs et les tendres car il existe entre les deux toute une gamme de passage. Parmi nos blés indigènes déjà on trouve suivant leur provenance et la semence toute une gamme allant depuis les blés glacés jusqu'aux blés tendres et mous.

Il est donc possible que l'amidon puisse présenter des différences d'ordre physique, au moins, suivant qu'il provient de blés humides ou de blés durs et secs qui ont subi l'effet brutal de la chaleur à la maturation. Guidé par cette idée nous avons procédé aux essais suivants : Contrairement à ce que nous avons fait pour démontrer les variations qui peuvent exister dans l'activité diastasique des extraits provenant de farines de deux blés différents, nous avons fait agir l'extrait d'une même farine sur de l'amidon provenant l'un de blé tendre, l'autre de blé dur et sec. Nous avons d'abord préparé l'amidon pur dépourvu de diastases dans les conditions indiquées ; pour cela nous avons choisi l'amidon provenant d'un blé dur d'Algérie et celui provenant d'un blé tendre indigène d'une semence à grand rendement à l'hectare. Les extraits actifs provenaient d'une farine de blé du Nord riche en diastases et d'une farine de blé d'Australie pauvre ; ils étaient obtenus en faisant digérer 25 gr. de farine dans 125 cm³ d'eau à 20° pendant 30 minutes y compris les 6 minutes de centrifugation. Dans des verres à centrifugeur nous préparions deux suspensions d'amidon cru, l'une avec 10 gr. d'amidon de blé tendre et 25 cm³ d'eau, l'autre avec 10 gr. d'amidon de blé dur ; dans le 3e verre on place 25 cm³ d'eau seulement pour l'essai à blanc. De l'extrait frais on ajoutait 25 cm³ exactement de façon à faire 50 cm³ de liquide dans chaque verre. Le contenu des 3 verres est maintenu pendant 3 heures exactement à 20° en agitant les suspensions fréquemment. Les deux suspensions sont centrifugées simultanément et 25 cm³ de chaque placés dans des Erlenmeyer pourvus préalablement de liqueur de Fehling pour arrêter l'action des diastases. Les essais à blanc avaient pour but de nous indiquer le sucre qui avait pu se former dans les mêmes conditions dans l'extrait

pur. La différence entre les valeurs de sucre de l'essai avec amidon et de l'essai à blanc donne par conséquent le sucre formé aux dépens de l'amidon.

Essai sur amidon de blé tendre :

	Extrait blé du Nord	Extrait blé d'Australie
Maltose total.....	53 mgr.	41 mgr.
Maltose essai à blanc.....	24 mgr.	17 mgr.
Maltose aux dépens de l'amidon.	29 mgr.	24 mgr.

Essai sur amidon de blé dur :

	Extrait blé du Nord	Extrait blé d'Australie
Maltose total.....	42 mgr.	31 mgr.
Maltose essai à blanc.....	24 mgr.	17 mgr.
Maltose aux dépens de l'amidon.	18 mgr.	14 mgr.

Cette série d'essais montre qu'il existe effectivement des différences dans les propriétés de l'amidon ; les écarts sont restés sensiblement les mêmes et indépendamment de la richesse des extraits en diastases. L'amidon de blé dur a produit environ 40 % de sucre de moins que l'amidon de blé tendre. Nous tenons ici à citer les travaux très complets sur les propriétés de l'amidon des blés par Berliner et Rueter (15) (Diastasestudien an Weizenmehlen. — Zeitschrift für das gesamte Mühlenwesen, décembre 1928). Les auteurs ont établi des courbes de sucre en fonction de la durée de la saccharification qui démontrent les différences qui peuvent exister dans la formation de sucre selon la nature de l'amidon. Voici comment les auteurs montrent que ces différences pro-

viennent de la constitution globulaire : les amidons crus qui s'étaient présentés à la saccharification de façon différente produisaient après transformation en empois exactement les mêmes quantités de sucre. La publication de ces importants travaux est venue confirmer entièrement nos propres résultats.

Boutroux dans ses travaux sur la fermentation panaire n'avait pu mettre en évidence la disparition d'amidon pendant la fermentation, mais à son avis le sucre préexistant et celui provenant de la saccharification des dextrines étaient largement suffisants pour créer l'acide carbonique nécessaire à la bonne levée de la pâte. Il est certain que la saccharification se fait d'abord au détriment des substances amylacées solubles, que les diastases transforment bien plus facilement en maltose que l'amidon en globules. Dans l'étude sur la formation du grain de blé nous avons vu qu'il existe dans l'amande farineuse et par conséquent dans la farine des traces de produits amylacés intermédiaires provenant de la formation de l'amidon et bloqués dans l'amande par la maturation. Lors de notre étude des blés nous avons voulu nous rendre compte de l'existence d'abord de ces substances et de leur quantité d'une espèce de blé à l'autre. On devra en effet admettre que suivant leur quantité elles peuvent déterminer une production de sucre plus ou moins grande. Les dosages tels que nous les avons faits ne sont pas des dosages de dextrines proprement dits car ils accusent l'ensemble des produits hydrocarbonés solubles non réducteurs. Voici comment nous avons procédé à la détermination de ces substances. Une partie des extraits provenant des dosages du sucre préexistant était soumise à la saccharification acide au bain-marie ; l'ensemble des substances amylacées solubles est ainsi transformé en glucose. Déduction est faite chaque fois de l'équivalent de maltose préexistant. Pour plus de facilités et sans commettre d'erreur importante, nous avons exprimé les résultats en dextrines en appliquant le coefficient de conversion 0,95. La mesure de l'ensemble de ces substances nous paraissait plus intéressante, car il se pourrait que certaines substances de constitution plus simple que les dextrines et dépourvues

de fonctions réductrices au Fehling soient susceptibles de participer à la fermentation alcoolique de la pâte. Dans notre tableau des blés nous avons réservé une colonne dans laquelle sont portés les différentes valeurs ainsi obtenues. Examinons-les pour voir le rôle possible de ces substances dans la saccharification. En comparant d'abord et sans distinction aucune la quantité moyenne de sucre diastasique produite au bout de 6 heures, soit 2,85 gr., avec la quantité moyenne de dextrines de l'ensemble des blés, soit 2,30 gr., et en admettant que l'ensemble des substances amylacées soient des dextrines exclusivement, et que la durée totale de la fermentation n'atteigne jamais plus de 6 heures, on devra conclure avec Boutroux qu'il n'y a pas nécessairement disparition d'amidon globulaire au cours de la fermentation panaire, le sucre préexistant et les dextrines étant suffisants pour fournir l'énergie nécessaire à la levure. Mais si l'on compare pour chaque blé les valeurs diastasiques aux teneurs en dextrines, on découvrira des anomalies manifestes d'après lesquelles la production de sucre diastasique ne peut provenir des dextrines exclusivement. Ainsi notre farine de blé du Nord cependant riche en sucre diastasique (3,40 gr.) contenait plutôt moins de dextrines (1,77 gr.) que les farines de blé d'Australie et de l'Aude (1,93 et 1,80 gr.). Par conséquent les diastases de la farine du blé du Nord devaient s'attaquer obligatoirement aux globules d'amidon pour avoir produit une quantité aussi élevée de sucres réducteurs.

Il est également difficile de vouloir faire un rapprochement entre l'humidité naturelle des blés et leur teneur en dextrines ; si parmi les blés les plus humides on en trouve de plus ou moins élevées, on en trouvera par contre aussi de faible teneur. Il en est de même avec les blés très secs où les faibles quantités en dextrines voisinent avec les fortes. La teneur en dextrines telle que nous l'avons représentée, ne permet pas, en somme, de conclure sur la valeur diastasique d'une farine provenant de blés sains, chose qui cependant nous aurait paru logique. Cette question nous a assez préoccupé d'ailleurs et nous avons émis des doutes sur l'iden-

tité des dextrines et leur quantité surtout dans les farines. Ainsi avons-nous préparé des extraits de farines de différentes concentrations que nous avons essayés à l'iode et nous n'avons jamais pu constater d'autres teintes ou de nuances plus caractéristiques aux dextrines que le jaune plus au moins franc. Si nous nous rapportons au classement des diverses dextrines selon les teintes qu'elles produisent avec l'iode, il ne se trouverait dans les extraits de farine ni amylodextrine (bleu) ni érythrodextrine (rouge-acajou) en quantité décelable, peut être des achroodextrines, celles-ci ne changeant pas la teinte propre de la solution d'iode. Vu l'étendue de notre sujet nous n'avions pas pensé devoir pousser trop loin cette étude. Plus tard cependant, au cours de l'étude sur la fermentation panaire nous avons été contraints de revenir sur cette question, à savoir quelle pouvait être la nature de certaines substances autres que les dextrines et les sucres directement réducteurs, et qui selon toute évidence participaient à la fermentation alcoolique. Voici la constatation, à priori bizarre, que nous avons faite alors : ayant étudié d'abord et établi la courbe de saccharification diastasique d'une farine, nous avons refait les mêmes essais mais en présence d'une certaine quantité de levure. Nous mesurions alors le sucre diparaissant par la fermentation. Nous avons alors été surpris de trouver au bout de la première heure de fermentation par exemple plus de sucre qu'en l'absence de la levure. Mais nous avions cependant prouvé dans une série d'essais préliminaires l'inaptitude de la levure à produire du sucre aux dépens de l'amidon et cela contrairement aux assertions de Karl Mohs (voir l'ouvrage de cet auteur intitulé « Mehlchemie », p. 71 et p. 72, fig. 6).

L'existence du saccharose et du raffinose ayant déjà été signalée dans les farines, nous avons dû orienter nos recherches de ce côté et nous avons pu mettre en évidence l'existence de l'un de ces sucres par la méthode Lane dont l'exactitude sera discutée au moment nécessaire. Nous regrettons de ne pas avoir pu faire profiter notre tableau des blés de ce dosage, n'étant plus en possession des farines correspondantes. Nous avons toutefois constaté au cours de nos essais fermentatifs

que la teneur en l'un ou l'autre de ces sucres (partiellement fermentescibles, ce qui nous fait croire plutôt avoir à faire au raffinose), pouvait varier entre 1,45 et 1,80 gr. dans les farines de taux d'extraction habituel, soit 1,65 gr. en moyenne.

Cette quantité de sucre préexiste donc dans les farines et figure par conséquent parmi les substances que nous avons désignées grossièrement sous le nom de dextrines. De par leur nature ces substances ne contribuent pas à la saccharification diastasique. Il y a donc lieu de retrancher leur valeur de celles figurant dans la colonne « dextrines solubles » pour avoir à peu de choses près la teneur réelle en dextrines proprement dites. En retranchant donc la valeur moyenne en ces sucres non réducteurs préexistant dans la farine, soit 1,65 gr., de la valeur moyenne de ce que nous avons nommé « dextrines solubles », soit 2,30 gr., il ne reste plus que 0,65 gr. en moyenne de substances amylacées solubles, susceptibles d'enrichir les farines par hydrolyse en sucres diastasiques directement réducteurs.

Ainsi voyons-nous que la teneur réelle des farines en dextrines est faible, fait qui nous avait en somme été prouvé par l'absence des colorations typiques à l'iode dans les extraits. Si l'on compare alors cette teneur moyenne en dextrines à la production moyenne dans les farines de sucre diastasique au bout de 2 et 6 heures, soit 1,85 et 2,74 gr., *on devra admettre sans doute possible qu'il y a, au cours de la fermentation panaire, attaque de l'amidon globulaire par les diastases,* fait que Boutroux n'avait pu prouver alors par ses dosages d'amidon avant et après fermentation. Ainsi avons-nous pu apporter de façon définitive la preuve que la formation diastasique de la majorité des sucres réducteurs se fait au détriment de l'amidon en globules.

Voici en résumé nos constatations sur ce chapitre : Le sucre diastasique pouvant être formé dans une farine dépend :

1° de la quantité ou de la qualité des substances douées de propriétés diastasiques ;

2° de la nature de l'amidon de la farine.

Il y a au cours de la fermentation panaire disparition effective d'amidon globulaire.

En ce qui concerne la façon dont se produit l'attaque des globules par les diastases, celle-ci pourrait se faire difficilement par corrosion périphérique mais plutôt par la dislocation interne des grains d'amidon. D'après les vues modernes, les grains d'amidon seraient constitués par une enveloppe d'amylopectine — combinaison amylophosphorée — résistante, transformable en empois, et d'un contenu d'amylose de faible solidité. Les diastases chercheraient à forcer l'enveloppe à plusieurs endroits en formant des canaux de pénétration à l'intérieur du grain. D'après nos propres observations nous ne croyons pas cependant que l'amidon disparaissant au cours de la fermentation panaire provienne de l'intérieur du grain d'amidon, car il est impossible de découvrir au microscope même après 24 heures de saccharification à basse température des canaux de pénétration. A notre avis la corrosion par les diastases des grains d'amidon au cours de la fermentation panaire n'est que strictement périphérique, le travail hydrolytique n'allant jamais jusqu'à la dislocation interne des globules. On peut dans une certaine mesure suivre la progression de la saccharification en mesurant le phosphore libéré soit par la méthode de titration à « étages » avec plusieurs indicateurs, soit par la méthode électrique en mesurant les variations de la conductibilté.

Des blés altérés et des farines avariées

L'ensemble de nos observations faites jusqu'à présent portait exclusivement sur des farines provenant de blés sains, visiblement non altérés. Ainsi avons-nous vu que la qualité de la farine, soit le gluten, le sucre diastasique, la plasticité, pouvaient varier dans de fortes proportions selon la provenance et la nature des blés et d'une façon générale suivant les conditions climatériques et autres auxquels ils sont expo-

sés. Si les conditions générales et ordinaires dans lesquelles croissent les blés leur communiquent un caractère net et des qualités qui permettent toujours de les distinguer les uns des autres, leurs propriétés typiques peuvent néanmoins subir de profondes modifications soit à la suite de conditions climatériques anormales en période végétative et de maturation, soit au cours de leur conservation.

La résistance des blés en général ne leur permet de lutter que dans une certaine mesure contre les anomalies de toutes sortes sans subir de modifications préjudiciables à leur valeur boulangère. Ainsi les froids excessifs et les grandes chaleurs suivies de sècheresse agissent très défavorablement sur la qualité et sur la quantité des divers constituants du grain.

L'excès d'humidité est préjudiciable aussi à la qualité du blé ; la maturation se fait alors de façon incomplète et rend ainsi les blés très instables à la conservation. Les blés humides respirent très facilement, ont une tendance à la germination et aux phénomènes d'autocalorification dus souvent aux champignons et microorganismes autres qui y pullulent. Les blés humides sont généralement les plus infectés et la farine qui résulte de blés humides non altérés s'abime très rapidement à la suite du développement des germes qui y sont entraînés par les opérations de la mouture.

Voyons d'abord les altérations que peuvent subir les blés. Elles sont de deux natures principalement mais à notre avis essentiellement différentes l'une de l'autre : la germination et l'échauffement. La germination donne lieu à une véritable digestion des produits de réserve se trouvant à l'intérieur du grain et elle est favorisée par l'humidité et la température. L'échauffement des blés et ses causes a été étudié récemment par Legendre (11) et résulte principalement de la pullulation à la surface des grains de microorganismes de toute espèce se nourrissant aux dépens du sucre diastasique de l'amande farineuse. A notre avis la flore qui envahit généralement les blés humides trouve suffisamment de débris organiques et autres à la surface des grains leur permettant de manifester leur vitalité même en l'absence de grains cassés. Ainsi avons-

nous suffisamment eu l'occasion d'étudier des blés échauffés avec un nombre pratiquement inexistant de grains brisés ; il existe d'ailleurs de nombreux microorganismes à propriétés cytolytiques. Il suffit que le blé soit assez humide, soit par lui-même, soit par un mouillage accidentel, et conservé en vase clos c'est-à-dire à l'abri de toute aération, pour donner lieu au développement et à la pullulation des germes, phénomènes qui se traduisent par l'élévation de la température de la masse de blé. Revenons d'abord aux phénomènes de germination.

Les récoltes humides des campagnes 1926 et 1927 nous avaient apporté quantité de lots de blés plus ou moins germés alors que la campagne 1928 ne nous a pas permis d'en trouver un seul lot. L'explication est fort simple, sachant que les deux premières années avaient été très humides alors que l'été 1928 a été particulièrement chaud et sec. Les blés des deux campagnes humides étaient très difficiles à conserver, prenant souvent un goût très prononcé de moisi alors que les blés secs de la dernière récolte ne bougeaient pas en silo. L'humidité de nos blés indigènes variait de 16 à 19 % pour les récoltes 26 et 27 et de 13 à 16 % pour la récolte 28. Nous connaissons encore très peu la façon dont est répartie l'eau dans le grain, toutefois semble-t-il qu'il y en a un certain taux lié plus ou moins solidement à la matière. Il doit exister une espèce de limite de saturation, au-delà de laquelle l'eau est retenue dans le grain par simple capillarité comme dans une éponge. Ainsi peut-il exister une certaine mobilité à l'intérieur du grain, les diverses parties étant en liaison humide entre elles. Cet état de sursaturation se manifeste souvent par des phénomènes de transpiration que présentent parfois les masses de blés humides. Nous avons étudié de près plusieurs lots de blés germés, avant voulu nous rendre compte des effets de la germination sur la qualité boulangère de la farine. Il est plutôt rare que les blés humides une fois battus et conservés soit en sac, soit en silo, tendent à la germination. Ces conditions semblent plutôt favorables au développement des microorganismes qui attaquent le plus souvent le germe

(grains butés). La germination se fait plutôt les blés encore sur épis, qu'ils soient coupés ou non, la maturation incomplète ou une pluie persistante ne permettant pas de les rentrer. On trouve alors des lots de blés contenant un nombre plus ou moins élevé de grains franchement germés. Nous avons vu aussi des lots de blé où la totalité des grains se trouvaient dans un état de commencement de germination. Ceux-ci sont absolument impropres à la mouture et à la panification. Le gluten est presque complètement digéré, très faible en quantité et en qualité, les pâtes sont humides et collantes. Règle générale la présence dans un lot de blé de grains germés est toujours mauvaise si l'on ne peut leur mélanger une forte proportion de blés sains et à gluten résistant.

Nous avons choisi pour notre étude complète deux lots de blés contenant l'un 4 % et l'autre 7 % de grains franchement germés. La farine était tirée, comme pour tous nos essais, à 50 % au tamis de soie N° 12. Les données analytiques de ces 2 farines sont portées en bas du tableau des blés. L'humidité de ces deux blés est sensiblement plus élevée que celle des blés sains, condition capitale à la germination. Notons, que nous n'avons jamais trouvé de grains germés parmi les blés de teneur en eau inférieure à 15 %. Cette constatation prouve à elle seule que les blés secs sont pratiquement inertes pendant leur conservation. Notons en passant que dans les grandes lignes le poids spécifique des blés est fonction de la teneur en humidité. Dans nos deux farines de blés germés la teneur en gluten est faible et de mauvaise qualité ; il est mou et filant. Voyons le pH des extraits aqueux : 5,90 et 6,0 ; ces valeurs n'ont absolument rien d'anormal et se maintiennent strictement dans les limites des blés sains. Nous tenons à insister sur ce fait, nombreux chercheurs prétendant que la digestion enzymatique de la farine au cours de la fermentation panaire déplace la valeur du pH de 6 à 5 (16). Nous n'avons jamais pu constater un déplacement de cette ampleur et prétendons que le déplacement maximum observé sur des pâtes en fermentation saine est de 0,15 à 0,20 unités de pH.

Le pouvoir diastasique des deux farines est très élevé ;

les valeurs de sucre sortent carrément de l'ensemble des celles de nos blés sains ; ces blés méritent donc d'être classés séparément. Le graphique de la page 67 montre l'emplacement qu'ils occupent par rapport aux blés sains. Notons aussi que la saccharification est plus intense dans la farine du blé à 7 % de grains germés que dans la farine à 4 %. Cette constatation nous prouve la tendance des blés humides vers la germination d'où résulte toujours un enrichissement plus ou moins prononcé, à l'intérieur de l'amande farineuse, de substances à propriétés diastasiques. Cela suffit pour démontrer la raison pour laquelle la presque totalité de nos blés indigènes, généralement humides, se classent comme premiers au point de vue diastasique. Nous avions toujours eu cette idée sur la question, même avant d'avoir commencé cette étude, et nous n'avions jamais pu admettre que les mauvais résultats obtenus à la panification avec une farine de blés de pays dussent être attribués à l'insuffisance de sucre diastasique.

Voyons un peu quel a été le résultat obtenu à la panification avec nos farines de blés germés. Les deux farines n'avaient pu absorber que 56 et 58 % d'eau alors que les farines ordinaires et saines absorbent en moyenne 64 à 66 % avec 70 à 72 au maximum. Les pâtes étaient sans corps et collantes et donnaient l'impression de retranspirer l'eau au cours de la fermentation. La durée de la fermentation était plutôt plus longue qu'avec des farines ordinaires ce qui semble un non-sens étant donné leur richesse en sucre diastasique. Le pain avait le plus faible volume que nous ayons jamais enregistré, il était lourd à la densité, plat et crevassé à la surface. Cependant d'après Woodmann (12) le volume d'une miche de pain serait fonction du pouvoir amylolytique de la farine. Dans le cas présent on ne peut certainement pas attribuer le faible volume du pain à un manque de pouvoir amylolytique et les pâtes auraient dû se remplir copieusement de gaz carbonique. Pourquoi la fermentation n'a-t-elle pas été plus rapide qu'avec une farine pauvre en sucre ? Il s'agit de s'entendre ici sur ce qu'on doit comprendre sous le terme

de fermentation. La fermentation et la levée de la pâte ne sont pas synonymes ; l'une est la conséquence de l'autre. Le gaz dégagé par la fermentation est plus ou moins retenu par la pâte qui augmente de volume en conséquence. Il peut y avoir fermentation même très active, si la pâte ne peut retenir convenablement le gaz elle lèvera plus lentement et insuffisamment, alors qu'une pâte pauvre en sucres donc de fermentation plutôt lente lèvera plus rapidement, pouvant retenir davantage les gaz de fermentation. C'est la principale raison pour laquelle les pains de nos farines de blés germés étaient de si faible volume.

Pourquoi maintenant cette mauvaise rétention des gaz ? Nous avons déjà dit que les pâtes étaient humides, plates et sans cohésion ? Une pâte de bonnes qualités plastiques sous la poussée des gaz présente obligatoirement un aspect bombé. Il y a une certaine quantité de gaz carbonique qui est toujours retenue dans la pâte à l'état dissous : dès la sursaturation le gaz tend à s'échapper et n'est retenu alors dans la pâte que mécaniquement. Si la pâte est souple et élastique elle peut céder à la pression gazeuse en s'étendant, c'est-à-dire en levant. La pâte molle et courte se remplit d'abord aussi de gaz par dissolution, mais aussitôt la sursaturation arrivée, au lieu de pouvoir céder à la pression en s'étendant, les petites alvéoles déchirent et se recollent ; il se forme par endroits de grosses poches de gaz qui monte à la surface où il peut s'échapper. Ces pâtes, au lieu de lever au fur et à mesure, cèdent chaque fois que la pression gazeuse dépasse une certaine valeur et relâchent. Le peu de gaz retenu dans ces pâtes ne peut pas non plus faire gonfler la pâte au four. Là encore les défauts de plasticité se font remarquer : dès la première poussée sous l'action de la chaleur, la pâte déchire et en laissant échapper l'acide carbonique ne peut donc augmenter de volume.

Voyons maintenant comment ces deux farines se comportent à l'extensimètre Chopin. Leurs diagrammes traduisent très fidèlement la mauvaise tenue de leurs pâtes. Ils ont une très faible pression ce qui indique le manque de corps néces-

saire à maintenir la pâte sous la pression des gaz de fermentation, et la tendance des pâtes à relâcher. Pour toutes les farines donnant satisfaction à la boulangerie la bonne tenue de leurs pâtes se traduit au diagramme Chopin par un rapport minimum favorable entre la pression et le gonflement. Ainsi une pâte à très forte pression et peu de gonflement est généralement d'aussi mauvaise qualité boulangère qu'une pâte de peu de pression et de beaucoup de gonflement. Dans le premier cas les pâtes sont trop tenaces et les alvéoles déchirent sous l'action des gaz, faute d'élasticité. Dans le cas de nos farines de blés germés, la pâte manque de rigidité ou de charpente, ne peut supporter la moindre suppression gazeuse et s'effondre. La juste interprétation de l'allure des diagrammes est de très grande utilité. Ainsi peut-on se rendre compte du pouvoir de rétention des gaz de fermentation par la pâte, facteur essentiel pour l'obtention de pain volumineux, c'est-à-dire léger.

Voici donc d'après les diagrammes Chopin les raisons pour lesquelles nos pâtes de farine de blés germés retiennent mal les gaz : La fermentation de ces pâtes est certes active, plus active que d'ordinaire, la forte teneur en sucre diastasique en est la principale raison. Pourquoi les pâtes lèvent-elles alors insuffisamment ? Les diagrammes enregistrent à la fois une pression maximum au début puis une pression de rupture plus faible. Avec nos farines ces pressions sont très faibles ; en voici l'interprétation pratique. Aussitôt que la pâte a absorbé sous forme dissoute le maximum de gaz, sa distention commence, dûe à la formation d'innombrables alvéoles. La réserve gazeuse est par conséquent fonction de la contrepression que peut opposer la pâte. Une pâte tenace et élastique contiendra donc une plus grande quantité de gaz qu'une pâte molle et « donnera » davantage au four. La faible pression terminale du diagramme marque donc l'inaptitude d'une pâte à conserver sous forme comprimée une certaine réserve gazeuse. Il n'existe donc dans ces pâtes au moment de leur enfournement qu'une faible quantité de gaz pouvant juste être retenue par la faible tenacité.

L'importance du pouvoir de rétention du gaz carbonique par les pâtes a d'ailleurs déjà été signalée et étudiée par Maurizio, Neumann (17) et Mohs ; Bailey et Johnson ont étudié une méthode de mesure. Les farines faibles lâchent plutôt les gaz que les farines ayant beaucoup de corps. D'après ces auteurs le pouvoir de rétention est un critérium susceptible de donner des indications sur la façon dont se comporte une farine à la fermentation. Une pâte ne relâche que relativement peu de CO^2 au début de la fermentation ; selon ses qualités cette perte se manifeste plus ou moins tard. Pour deux farines, l'une faible, l'autre tenace, il peut y avoir ainsi des différences de plus de 100 % dans les temps à partir desquels apparaissent les pertes en CO^2. Ainsi les farines basses fermentent avec la même intensité que les farines ordinaires, mais elles ne peuvent retenir les gaz produits à cause de leurs mauvaises qualités plastiques.

Nous venons enfin à la discussion du W, c'est-à-dire du travail de déformation obtenu avec les deux farines. Cette valeur traduit l'ampleur des diagrammes et donne généralement une indication sur les facultés d'adsorption d'eau. Nos deux farines de blés germés ont un W de 50 et 54. Nous avons déjà dit que l'échelle des W pouvait varier entre 15 et 350. Nos farines en se classant en bas de l'échelle ne seraient que de très faible hydratation, et nous rappelons qu'elles n'avaient en effet absorbé que 56 et 58 litres d'eau pour 100 kg. contre 64 à 66 pour les farines de qualité satisfaisante.

On nous objectera avec raison que les deux cas sur lesquels nous raisonnons sont absolument exceptionnels et anormaux. Certes, et nous les avons choisis avec intention pour démontrer sous une forme amplifiée la tendance vers laquelle vont trop souvent nos blés indigènes la plupart du temps humides. L'allure des diagrammes obtenus avec nos blés de pays sains est généralement supérieure mais il suffit d'étudier dans le tableau des blés les valeurs plastiques de l'ensemble de ces blés pour voir qu'elles ne sont pas très éloignées de celles de nos deux exemples. Il n'est pas rare de trouver des farines faites avec des blés de pays purs et

non germés ayant une allure et une ampleur semblables à celles de nos deux farines. La majorité de ces farines ont des W qui varient entre 60 et 90. Ainsi que nous l'avons démontré leur pouvoir diastasique est plutôt supérieur à la moyenne, par conséquent il ne faut pas vouloir attribuer les défauts de développement de leurs pâtes pendant la fermentation et au four à l'insuffisance de leurs qualités diastasiques, mais principalement, nous dirons même uniquement, à leurs qualités plastiques plus ou moins défectueuses.

Voici un exemple pratique qui a confirmé nos idées sur la question : Nous avons reçu au cours de l'année 1927 le directeur d'une coopérative de boulangerie qui nous a fait part des échecs qu'il éprouvait avec certaines farines. Celles-ci, nous disait-il, donnent des pâtes humides qui n'avancent pas, et le pain, après cuisson, est lourd, serré et de faible volume. J'ai essayé d'activer la fermentation en ajoutant à la farine des extraits de malt ou de la farine de malt, mes pâtes ne « marchaient » pas plus vite, et le pain restait aussi lourd.

Nous avons essayé ces farines à l'extensimètre Chopin, le diagramme était celui d'une farine de blés de pays purs faisant 62 de W avec une pression absolument insuffisante. L'addition de malt sous n'importe quelle forme était certes le dernier des correctifs à employer pour les farines de blés de pays de l'année 1927, cette récolte étant tellement humide que les farines étaient largement diastasées pour les besoins de la fermentation, et le fait d'avoir encore ajouté du malt a plutôt contribué à amollir davantage le gluten déjà faible et à noyer la levure dans le sucre. Le seul remède consistait à améliorer la plasticité de ces farines. Nous avons tenu à citer cet exemple pour montrer combien on exagère sur la question et combien les conseils donnés souvent à la boulangerie sont basés sur des idées souvent erronées. Nous ne sommes d'ailleurs pas les seuls à avoir fait des essais de la sorte et à prétendre que l'introduction soit de sucre directement, soit de produits diastasés ne favorise guère la vitesse de la fermentation, on constate même souvent le contraire.

Avant de terminer ce chapitre revenons sur la provenance

et la nature des diastases dans les farines. L'accroissement du pouvoir amylolytique d'une farine provenant de blés plus ou moins germés est le résultat naturel de l'enrichissement en diastases ou, s'il ne s'agit d'un fait quantitatif, de l'activation de certaines substances à l'intérieur de l'amande farineuse par la germination. Le germe d'où émane la vitalité du grain est mis en liaison directe avec l'amande dès qu'il y a de l'eau en sursaturation dans le grain et les échanges peuvent être plus ou moins rapides suivant la teneur en humidité. Si nous considérons notre courbe de saccharification en fonction de la température, nous devons admettre que les farines ordinaires provenant de blés sains non germés sont naturellement déjà très diastasés ; en effet, à la température de saccharificarion optimum de 62°5 les propres diastases de la farine ont pu créer en deux heures 48 gr. de sucre réducteur sur 100 gr. de farine sèche, ce qui est sans doute considérable. Pour nos connaissances des phénomènes diastasiques, il serait intéressant de savoir si la germination provoque vraiment un enrichissement en diastases dans l'amande farineuse ou si le phénomène ne consiste qu'en une simple activation en changeant les propriétés physico-chimiques, la nature colloïdale de certaines substances existant déjà dans l'amande. De fait les théories modernes tendent de plus en plus dans ce sens en attribuant les diverses actions hydrolytiques non plus à une série de diastases ou enzymes mais à une seule et unique substance qui modifierait ses propriétés selon les nécessités. Aussi tend-on à expliquer de plus en plus les réactions enzymatiques comme étant des réactions d'ordre purement physico-chimiques. Pour notre étude retenons comme conclusion que la présence dans un blé de grains germés augmente, selon leur proportion, le pouvoir diastasique de la farine sans faire varier très sensiblement la réaction, c'est-àdire son pH. Quant à la valeur boulangère des farines de blés germés, elles est médiocre sans exception, l'action ezymatique étant préjudiciable à la qualité du gluten et par conséquent à la plasticité des pâtes. Une pâte de farine trop diastasée ne lève pas plus vite, l'excès de sucre étant plutôt contraire à une bonne fermentation.

Nous profitons de cette occasion pour émettre notre point de vue sur l'influence du conditionnement des blés sur le pouvoir diastasique des farines. Le conditionneur est un appareil qui nous est venu des pays où l'on travaille en majorité des blés durs et secs. Ainsi que nous l'avons déjà dit dans notre description sur les opérations du nettoyage des blés avant mouture, certains blés durs et secs ne peuvent être moulus dans leur état de siccité naturelle. L'enveloppe du grain doit être préalablement amollie pour être séparée plus facilement et plus complètement de l'amande. Jadis on se contentait de mouiller ces blés et de les laisser reposer pendant des heures et des jours pour permettre à l'eau de diffuser à l'intérieur du grain. Pour augmenter la rapidité de diffusion on a alors imaginé les conditionneurs. En principe les conditionneurs sont des colonnes très hautes à travers lesquelles chemine le blé mouillé où il subit l'effet d'une température comprise entre 40 et 70° réalisée par des éléments de chauffage à l'intérieur des colonnes. A leur sortie, le blé est refroidi subitement à la température ordinaire. La durée de passage est d'une heure environ, et une grande partie de l'eau superficielle a pu traverser l'enveloppe du grain. L'action combinée de l'humidité et de la chaleur détermine dans le grain certains changements d'ordre physique qui favorisent la mouture. Résumons les avantages du conditionnement : diffusion rapide de l'eau de mouillage, amollissement de l'enveloppe du grain qui s'effrite moins sous l'action des cylindres ce qui permet d'obtenir une farine plus exempte de piqûres, c'est-à-dire de produits périphériques. Quelles sont les modifications que peuvent subir les qualités diastasiques d'une farine par le conditionnement? Il suffit de feuilleter les prostectus des diverses maisons qui construisent les conditionneurs pour y trouver un chapitre consacré à l'action favorable du conditionnement sur le pouvoir diastasique. Voici une appréciation que nous avons trouvée récemment sur une de ces feuilles : le conditionnement augmentera considérablement le pouvoir diastasique de vos farines.

Théoriquement l'action combinée de la chaleur et de

l'humidité doit créer dans le grain une tendance à la germination, mais d'après tous les essais que nous avons faits il n'en est rien en réalité, bien au contraire, car nous avons toujours trouvé à taux d'extraction égal plutôt une diminution. Nous avons vu tout à l'heure la proportion considérable en grains franchement germés qu'il a fallu pour faire varier à peine du double le sucre diastasique par rapport à la moyenne. Il est certain que le pouvoir diastasique ne peut se modifier de façon sensible dans un grain dur et sec qui ne prend l'eau malgré le conditionnement que de façon imparfaite, l'action de la chaleur étant en plus de faible durée. Les modifications qui pourraient se faire dans ce sens sont tellement faibles que le gain théoriquement réalisé devient plutôt négatif dans la pratique à la suite du conditionnement qui permet de tirer à un taux égal sinon supérieur une farine plus exempte de produits périphériques riches en diastases. Pratiquement le conditionnement diminue plutôt le pouvoir diastasique d'une farine. Nous tenons à signaler cette constatation, estimant qu'il est inadmissible de vouloir attribuer à une opération des avantages ou des propriétés qu'elle ne possède pas en réalité. Nous rappelons ici encore notre observation faite au sujet de la préparation des blés durs et secs à la mouture d'essai démontrant la nécessité de conditionner préalablement ces blés, l'introduction inévitable de produits périphériques dans la farine en écrasant ces blés à la siccité naturelle, pouvant fausser considérablement l'évaluation de leurs qualités diastasiques.

Blés avariés par échauffement

Nous allons étudier maintenant une autre sorte d'avarie qui, selon son intensité, peut rendre un blé impropre à la mouture et à la panification.

Qu'est-ce qu'un blé échauffé, quelles sont les conditions qui provoquent ce phénomène et quelles modifications subit le blé ?

Nous avons étudié deux lots-types provenant de la récolte humide de 1927 et que nous avons portés dans le tableau des blés page 64.

Ainsi que le dit leur nom ces blés ont subi une altération par l'action de la température. On reconnait facilement ces blés à l'aspect ; ils ont perdu leur couleur franche et leur éclat, ils sont devenus ternes et prennent parfois une teinte rouge-brune. Suivant l'intensité et les conditions, le germe, plus vulnérable que le restant de l'enveloppe, est buté, de couleur foncée ou verdâtre, et en flairant ces blés ils révèlent parfois un goût qui peut aller depuis le renfermé jusqu'au moisi franc. Cette dernière constatation fait déjà présumer l'origine ou la première condition de cette sorte d'altération. Nous avons déjà eu l'occasion de faire remarquer que les blés humides sont difficiles à conserver. Il suffit de les emmagasiner en grande quantité dans des silos difficiles à aérer pour les voir prendre petit à petit de la température. Pour qu'il y ait dégagement de chaleur il faut qu'il y ait respiration dans la masse de blé. Il a en effet été démontré qu'il y a dégagement de CO^2 qui ne peut provenir que d'une combustion. La surface du grain de blé est plus ou moins propre, et les blés humides sont toujours envahis par de nombreuses moisissures. Au cours des nombreuses manutentions que subit le blé, il se forme toujours des poussières organiques de toutes sortes provenant aussi des enveloppes extérieures du grain. Cet ensemble, en présence d'une humidité suffisante, peut fermenter ; il suffit alors que la chaleur dégagée ne puisse être évacuée pour qu'il y ait élévation de la température. Ainsi se trouvent réalisées toutes les conditions nécessaires à créer également un mouvement de germination, mais qui ne peut aller loin, les moisissures s'attaquant généralement après le germe qui est la partie la plus vulnérable de la surface du grain, celui-ci étant aussi plus riche en principes facilement assimilables. Ainsi trouve-t-on toujours dans les blés fortement échauffés le grain plus ou moins atteint. Il est certain que les grains brisés favorisent la fermentation, les moisissures trouvant dans l'amande mise à nu un milieu

favorable. Cependant, nous ne croyons pas que pour qu'il y ait échauffement il y ait obligatoirement tendance à la germination, mais nous croyons plutôt que la tendance à la germination est un phénomène secondaire et qui ne se manifeste qu'avec les blés humides et à la suite de l'élévation de la température. Ainsi avons-nous eu souvent l'occasion de constater des phénomènes d'échauffement dans des blés secs avec lesquels ce phénomène n'a certainement pu se produire par des tendances germinatives et le nombre de grains brisés était pratiquement inexistant. Mais ces blés avaient voyagé très longtemps en vrac et étaient très poussiéreux. Les endroits les plus chauds étaient là où il y avait le plus de poussière. C'est donc principalement la présence de cette poussière organique et minérale fortement envahie de microorganismes de toutes sortes qui, en présence de peu d'humidité superficielle, soit de condensation, soit de pluie, avait déterminé l'échauffement de la masse de blé. L'échauffement est donc le résultat d'un travail qui se fait exclusivement en dehors, c'est-à-dire à la surface du grain de blé, phénomène qui peut certes déterminer un travail interne si le blé est naturellement très humide. Et cependant, si l'on considère les qualités diastasiques des deux lots de blés échauffés que nous avons portés également dans notre tableau de la page 64, on devra convenir que l'action enzymatique n'a pratiquement pas été modifiée par l'échauffement malgré la teneur élevée de ces blés en humidité.

Ce qui frappe surtout dans ces blés c'est l'allure spéciale des diagrammes Chopin. Alors que les blés germés nous ont donné des diagrammes de faible pression, mais de gonflement plutôt considérable, les farines provenant de blés échauffés possèdent sans exception beaucoup de pression et une valeur de gonflement de plus en plus faible selon l'intensité de l'échauffement. Ce phénomène agit donc essentiellement sur les qualités plastiques en diminuant surtout le gonflement, c'est-à-dire l'élasticité de la pâte. On constate aussi que l'extensimètre Chopin enregistre fidèlement le degré de l'avarie, la perte de gonflement étant plus considérable avec le lot

N° 1 fortement échauffé qu'avec le lot N° 2 moins atteint. La qualité des glutens semble avoir subi des modifications très profondes. Dans le lot N° 1 on n'avait pu recueillir encore que 4,80 gr. pour 100 de farine contre 9 à 10 normalement ; ce gluten était de très mauvaise qualité, terne et grumeleux. La réaction du milieu de ces farines n'a cependant rien d'anormal avec des pH de 5,95 ; cette valeur est certes plutôt endessous de la valeur moyenne qui est de 6,05 à 6,10. Cette dernière observation nous amène aussi à admettre qu'il n'y a pas eu de travail interne proprement dit ; la valeur de pH étant plutôt normale, il n'y avait pu avoir activation du pouvoir diastasique par l'augmentation des ions H. D'après les quantités de sucre diastasique que nous avons obtenues il n'y aurait pas eu non plus enrichissement de l'amande en diastases. Les modifications internes qu'ont subies ces blés semblent donc être de nature purement physico-chimique, dues à l'action plus ou moins prolongée de la température dégagée en dehors du grain, c'est-à-dire à sa périphérie à la suite de la respiration très intense des microorganismes favorisée par certaines conditions. Pour modifier l'intérieur du grain de cette façon, la source de chaleur n'importe pas ; il suffit de faire subir au blé l'action prolongée de la température soit par des phénomènes d'autocalorification dus à la pullulation de microorganismes, soit en le maintenant accidentellement trop longtemps et à une température excessive dans les colonnes sècheuses. Le résultat est toujours le même : il n'y a ni modification sensible de la réaction ni modification des qualités diastasiques — à condition naturellement que la température n'ait pas atteint une valeur susceptible de détruire les diastases — mais par contre modification très profonde des propriétés physico-chimiques du gluten et par conséquent de la plasticité. Le gluten, sous l'action de la chaleur, a subi une coagulation plus ou moins complète et perd ainsi son élasticité et son pouvoir absorbant d'eau.

Voici d'ailleurs une étude faite sur l'orge qui confirme entièrement nos propres constatations : J. Raux a fait paraître en 1928 dans « Brasserie et Malterie » une étude sur l'échauf-

fement des orges et nous empruntons à « Chimie et Industrie » (février 1929) le compte rendu de FERNBACH à ce sujet (18) :

« L'échauffement des orges est provoqué, accessoirement, par la respiration du grain et principalement par le développement des microorganismes de la surface (moisissures, torulas, levures, bactéries) ; ce développement se porte plus particulièrement sur le germe. Les conséquences en sont graves : noircissement de la pointe, odeur forte et rappelant le moisi, voire même mort du germe, ce qui rend l'orge inutilisable en malterie.

Les circonstances favorisant l'échauffement sont : l'humidité, la température élevée, la malpropreté du grain et l'entassement en grosses quantités. On peut employer certains remèdes préventifs :

1) L'élimination des poussières.

2) Le magasinage du grain en couches minces. Le magasinage en silos, qui a l'avantage d'exiger peu de place, présente, au point de vue de l'échauffement, des inconvénients sérieux, auxquels on essaie de remédier, parfois sans succès, par une circulation d'air.

3) L'action de certains agents chimiques. Le saupoudrage par sels alcalins réalise un pH peu favorable au développement des microorganismes (voir LEGENDRE). On a essayé sans succès le SO^2, qui tue le germe. Le Na^2SO^3 donne le meilleurs résultats.

4) Enfin, à côté de ces artifices, le vrai moyen d'empêcher l'échauffement est la dessication de l'orge à 11 % d'humidité. La dessication a d'ailleurs un double avantage pour le malteur, puisqu'elle accroît l'énergie germinative. »

Ainsi que nous l'avons déjà dit, l'échauffement d'une grande masse de blé peut se produire aussi même si le blé est relativement sec. La présence d'une forte proportion de poussières organiques — poussières vivantes — suffit pour provoquer l'échauffement. L'intérieur du grain subit alors l'action plus ou moins intense et prolongée de la température

qui agit principalement sur la plasticité. L'action de la température ne modifie pas sensiblement la réaction du milieu ni le pouvoir diastasique des farines. Notons à ce sujet que si l'action prolongée de la température n'a pas augmenté les qualités diastasiques, elle ne les a pas diminuées non plus. Cette constatation vient encore confirmer d'une autre façon l'inaction pratique du conditionnement sur les qualités diastasiques des farines. L'échauffement accidentel des blés, au seul point de vue thermique, est une sorte de conditionnement aussi, mais de longue durée. Si vraiment le conditionnement industriel, qui dure généralement une heure, devait modifier sensiblement le pouvoir diastasique de l'amande farineuse, l'échauffement accidentel, d'une durée plus considérable, devrait, avec plus de raisons, modifier — dans un sens ou dans l'autre suivant les conditions bien entendu — les qualités diastasiques. Or, d'après les deux blés que nous venons d'étudier, l'un fortement échauffé dans toute sa masse et l'autre moins atteint, les qualités diastasiques ne se sont pas modifiées. Les deux lots étaient des blés indigènes humides, non germés ; leurs courbes de saccharification sont absolument semblables à celles obtenues avec nos blés indigènes humides mais sains. Par conséquent, les seuls dégats dûs à l'échauffement résident dans l'altération du gluten ; les pâtes ayant perdu leur élasticité sont généralement trop fermes et ne peuvent retenir convenablement le CO^2 de fermentation, d'où faible volume du pain. Quant à l'intensité de la fermentation, celle-ci n'a absolument rien perdu par l'échauffement. Il ne faut par conséquent pas vouloir expliquer l'inertie des pâtes, le manque de volume du pain provenant de farines de blés échauffés, à un manque de sucre diastasique : défectuosité des qualités plastiques (voir leurs constantes plastiques), voici la raison principale.

L'avarie des farines
Modifications de la réaction du milieu

Nous avons vu tout à l'heure que la principale modification interne provenant de l'échauffement des blés par la pullulation microbienne réside dans la coagulation plus ou moins profonde du gluten diminuant ainsi les qualités plastiques de la farine. C'est l'unique constatation que l'on puisse faire sur la farine fraîchement moulue. Cependant, en admettant que la farine puisse donner encore quelques résultats à la panification, elle ne sera pas de grande stabilité si l'on devait la conserver pendant quelque temps. Les enveloppes sont certes imperméables aux microorganismes et en protègent ainsi l'intérieur. Mais malgré tous les soins apportés au nettoyage des blés échauffés avant leur mouture, leur envahissement a été tel que la proportion de germes, introduits par les opérations de la mouture dans la farine, est considérable. Ces germes ne restent naturellement pas inactifs dans la farine, surtout si elle est plus ou moins humide. Les farines provenant de blés échauffés gardent généralement une odeur de moisi qui se manifeste surtout après la cuisson en retirant le pain du four ; en outre elles s'abiment bien plus rapidement que les farines de blés sains. Dans le cas présent les causes de l'altération sont manifestes, les germes ayant vécu d'abord sur la surface des grains ont envahi au cours de la mouture la farine, dans laquelle ils continuent à se manifester avec une intensité qui dépend des conditions qui leur sont offertes. Qu'advient-il alors des farines provenant de blés sains, au cours d'un emmagasinage de longue durée ?

D'après les observations pratiques on sait qu'il y a des farines qui se conservent plus longtemps les unes que les autres, les conditions de conservation étant les mêmes naturellement. Quels sont les phénomènes qui peuvent se passer dans une farine ?

Meuniers et boulangers savent qu'une farine fraîchement

moulue ne possède pas son optimum de qualité ; elle subit au cours d'une période qui suit la mouture certaines modifications internes, considérées généralement comme une sorte de maturation. Ce premier repos est, sans exception, toujours à l'avantage de la qualité ; il vient ensuite une période de stabilité plus ou moins longue se traduisant par un palier pour faire place enfin à un mouvement de déclin de rapidité variable et qui dépend de la composition générale de la farine, de la propreté des blés et naturellement des conditions de conservation.

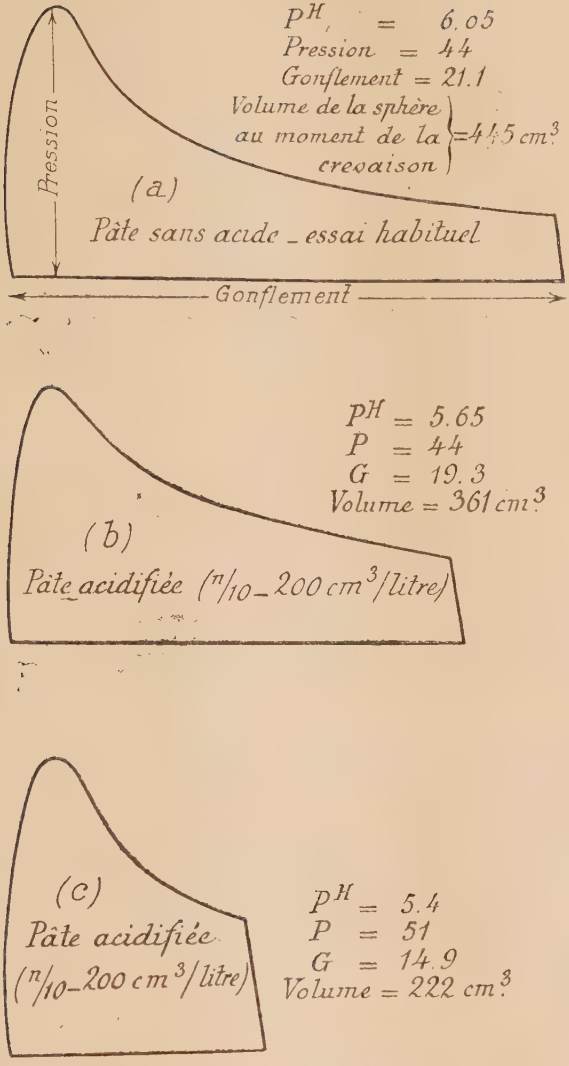
En voulant représenter l'allure de ce phénomène par une courbe, la branche correspondant à la période d'amélioration est d'une ascendance rapide au début, elle s'aplatira petit à petit pour atteindre sa valeur maximum qui est maintenue plus ou moins longtemps. Vient alors une diminution de la courbe d'abord faible et généralement rapide à la fin. Notons bien que nous raisonnons ici sur une farine de blés sains. Ce phénomène serait-il alors provoqué ou déterminé uniquement par des réactions d'ordre physico-chimiques, transpositions, etc. ? Certes non, il suffit, en effet, d'observer l'allure du phénomène avec une farine de blés douteux, conservée dans de mauvaises conditions, pour constater que l'allure générale est la même mais considérablement plus rapide. L'allure générale du phénomène est déterminée par des causes absolument distinctes l'une de l'autre. Il y a d'abord maturation, c'est-à-dire amélioration des qualités plastiques de la farine, phénomène d'ordre physico-chimique surtout et accompagné de certaines réactions d'ordre enzymatique mais très faibles à notre avis. Vient alors la période de stabilité qui dépend de la propreté de la farine ou plutôt des blés qui ont servi à la mouture. En flairant une vieille farine, on distingue généralement une odeur rappelant le moisi ce qui fait supposer qu'il y a eu une action autre d'ordre microbien. En effet toutes les farines subissent des modifications provenant de microorganismes, car il n'existe pas de farines absolument stériles, même si elles proviennent de blés les plus propres. Ainsi que nous venons de le dire, la période de stabilité dépend

essentiellement de la richesse en germes nocifs et la farine se conservera d'autant moins longtemps que les blés auront été plus fortement envahis. La valeur boulangère d'une farine mise en magasin dépend donc de deux causes, l'une d'ordre physico-chimique, l'autre d'ordre microbiologique. Il est difficile de délimiter exactement leur action, les deux s'enchevêtrant probablement à un moment donné. Voyons d'abord en quoi consiste le phénomène de la maturation. En cuisant une même farine fraîchement fabriquée puis après 10 à 15 jours de repos, on constatera que la pâte sur farine fraîche plutôt plus humide, se présentera après ce repos plus sèche et maniable et de meilleure tenue ; son pouvoir d'absorption d'eau est supérieur aussi et l'aspect du pain est meilleur. En faisant les mêmes essais à l'extensimètre Chopin, on y constatera quelques modifications aussi se traduisant généralement par un changement à la fois quantitatif et qualitatif : la pression principale et terminale augmente légèrement et par conséquent le W. Ainsi avons-nous pu constater des améliorations dues au repos qui pouvaient aller jusqu'à 35 % sans modifier la valeur de gonflement de la farine. Il semble donc que la farine ait subi certaines modifications internes qui agissent favorablement sur ses qualités plastiques. Les explications ne manquent pas sur les causes et la nature de ces réactions. On admet que l'ensemble des modifications déterminant la maturation résulterait de phénomènes d'oxydation et enzymatiques ; il y aurait donc modification chimique et physico-chimique. Ces réactions entraîneraient une modification sérieuse de la réaction du milieu en la déplaçant de pH 6 à 5.

Jessen-Hansen (16) dans son étude sur la fermentation panaire a insisté sur l'importance de ce phénomène en démontrant que la fermentation panaire était d'ailleurs optimum à pH 5. L'auteur a tiré la conclusion pratique suivante, disant que pour réaliser les meilleures conditions de fermentation il y aurait lieu de ramener les pâtes à pH 5. Nous n'avions pu alors partager son avis tout en n'ayant pas encore fait de notre côté d'étude systématique dans ce sens. Mais nous

avions eu souvent déjà l'occasion de constater que des farines de pH 5 étaient absolument impropres à la panification à cause de leurs qualités plastiques tout à fait défectueuses.

Partant de cette idée, et sans vouloir contester l'action accélératrice de l'augmentation de la concentration des ions H sur la fermentation panaire, nous avons voulu nous rendre compte de l'influence du pH sur la plasticité des pâtes de farines. Pour faire varier le pH de la pâte nous avons ajouté à l'eau de pétrissage des quantités croissantes d'acide, les autres conditions d'expérimentation restant naturellement les mêmes. Avant chaque essai à l'extensimètre nous avons prélevé un morceau de pâte pour la détermination du pH. Celle-ci a été faite colorimétriquement aux indicateurs mono- et polychromes avec un comparateur à disques que nous avions étalonné préalablement avec un potentiomètre de précision en nous servant d'extraits de farine comme milieux de comparaison. Nous préférons la méthode colorimétrique plus rapide à la méthode potentiométrique plus précise, mais nous estimons que la méthode colorimétrique est suffisamment exacte si l'on procède à un étalonnage. Nous tenons à donner in extenso les résultats de cette étude pour mieux démontrer l'action des divers pH sur la plasticité et sur le pouvoir diastasique. Sur la page 105 nous avons réuni les diagrammes obtenus sur une même farine en faisant varier son pH par l'introduction de quantités croissantes d'acide sulfurique. Le diagramme (*a*) a été fait dans les conditions de travail habituel sans aucun réactif acide. Le pH de la farine était de 6. Le diagramme (*b*) se trouve déjà modifié sérieusement, le pH de la pâte étant de 5,65. Sa pression n'a guère changé mais le gonflement est tombé de 21,1 à 19,3 pour atteindre 14,9 avec la pâte de pH 5,40. Nous assistons donc à une diminution du gonflement au fur et à mesure de la baisse du pH. Notons à titre purement documentaire que les variations sont du même ordre exactement en poussant le pH de 6 vers les fortes alcalinités. Si l'on considère l'allure du diagramme (*a*) comme normale, on devra donc admettre que celle de (*c*) est absolument défectueuse. Nous avons donné à côté des valeurs de gonfle-



ment le volume des sphères en cm³ qui illustreront mieux la diminution considérable de l'élasticité des pâtes. Nous avons eu trop souvent l'occasion de constater que des farines à diagramme tel que nous l'avons obtenu à pH 5,40 étaient absolument impropres à la panification.

Dans une autre série d'essais nous avons voulu obtenir la confirmation de l'exactitude de notre expérimentation. Dans ce but nous avons conservé une farine pendant un an en suivant après quelques mois chaque fois l'allure du diagramme et les variations du pH. Page 108 et 109 sont réunis tous ces diagrammes. Ces essais confirment par conséquent nos premiers essais où nous avions fait varier artificiellement le pH des pâtes. L'allure du diagramme en fonction des pH est donc toujours la même, la nature chimique de l'acide n'importe pas mais seule sa concentration en ions H. Ainsi avons-nous la preuve nette de l'influence absolument néfaste de la diminution du pH de 6 à 5 sur la plasticité des pâtes de farines. A quoi sert alors une fermentation active à pH 5 si la pâte, faute de plasticité, ne peut retenir les gaz convenablement d'abord et qu'elle ne peut se dilater suffisamment sous l'action de la chaleur du four ?

Nous donnons page 110 deux diagrammes-types de farines fortement avariées, tout à fait impropres à la panification. Les diagrammes se passent de tout commentaire et ces modifications profondes de plasticité ont été également déterminées par la valeur très basse de leurs pH 5,45 et 4,80.

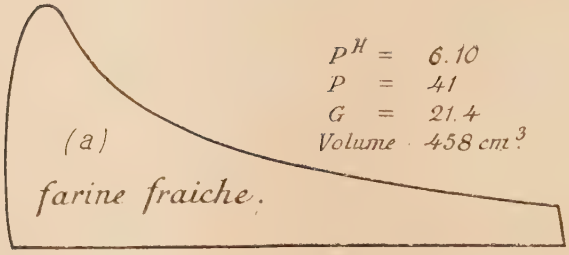
Nous venons ainsi de suivre les modifications plastiques que peut subir une farine prise à l'état frais jusqu'au moment où elle est devenue tout à fait impropre à la panification. L'acidification des farines au cours du vieillissement semble être obligatoire. Ces modifications sont dues à des changements d'acidité. Nous reproduisons un tableau de Berliner (19) qui montre sur de nombreuses farines, logées en toile 100 kg., les variations de pH au cours d'essais de conservation pendant 13 mois.

Numéro	1	2	3	4	5	6	7
H^2O %	16,5	16.7	16,7	16,7	16,8	16.9	17,1
Janvier.. ph	6,23	6.20	6,22	6,22	6,20	6,18	6,25
Février.....	6.25	6,22	6,23	6,26	6,22	6,25	6.28
Mars	6,23	6,20	6,15	6,18	6,15	6,20	6,25
Avril	6,18	»	6,12	6,20	6,15	6,18	6.28
Mai.....	6,18	6,10	6,15	6,20	6,15	6,20	6,25
Juillet	6,10	6,00	5.85	5,55	6,00	5,90	5,35
Août.....	4,65	5,40	5,85	4,40	5,35	5,90	4.75
Février.....	4,70	4,30	4,20	4,15	4,20	4,25	4 85

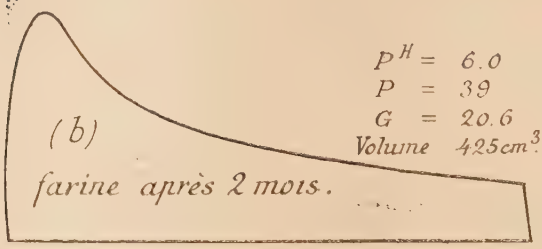
Ainsi constatons-nous que l'une des principales modifications est celle du changement considérable de sa réaction, le pH descendant de 6 à 5 et en-dessous.

Dans notre étude théorique de la saccharification diastasique en fonction du pH (voir le graphique page 16) nous avons vu que l'action diastasique subit des modifications très profondes suivant la réaction du milieu, les ions H pouvant jouer un rôle accélérateur ou tout à fait destructeur. Nous rappelons que les pH 3 et 8 déterminent l'arrêt complet avec un maximum d'intensité situé à pH 5. Ainsi avions-nous trouvé, en acidifiant la farine artificiellement, que la production de sucre diastasique est sensiblement le double à pH 5 qu'à pH 6, valeur originale et moyenne des farines saines. Parallèlement à notre étude sur les variations de la plasticité en fonction du pH réalisées artificiellement ou naturellement, avons-nous contrôlé les phénomènes diastasiques dans les mêmes conditions, et l'observation des phénomènes d'acidification naturelle nous a encore apporté la preuve de l'exactitude de notre étude théorique.

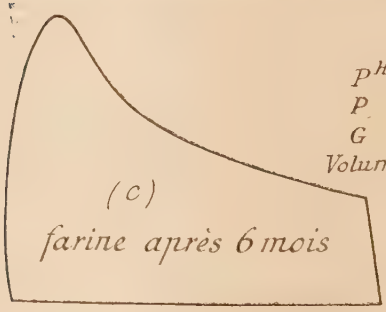
En mesurant le pouvoir diastasique d'une farine avariée, on y constatera toujours une production considérable de sucre, supérieure à la bonne moyenne. En principe deux causes peuvent déterminer cet accroissement de sucre : enrichissement de la farine en diastases ou action accélératrice des ions H sur les diastases. L'enrichissement d'une farine en diastases



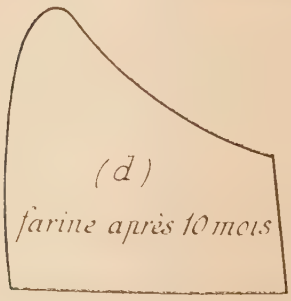
P^H = 6.10
P = 41
G = 21.4
Volume 458 cm^3



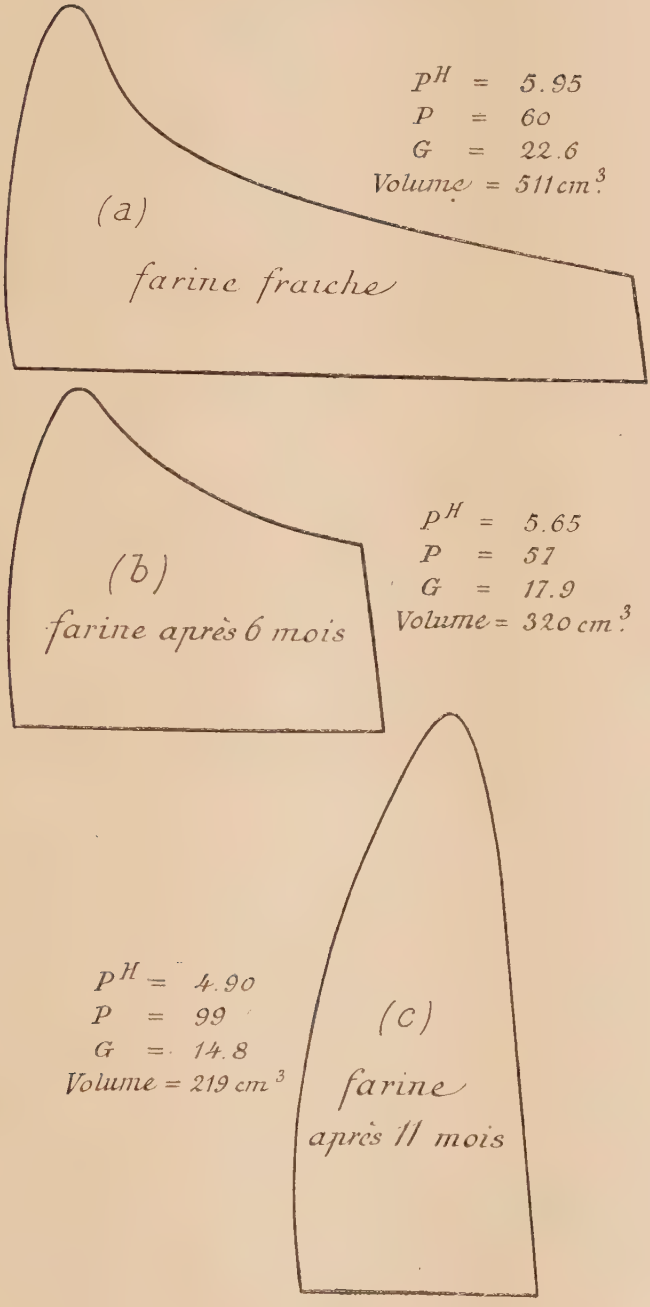
P^H = 6.0
P = 39
G = 20.6
Volume 425 cm^3



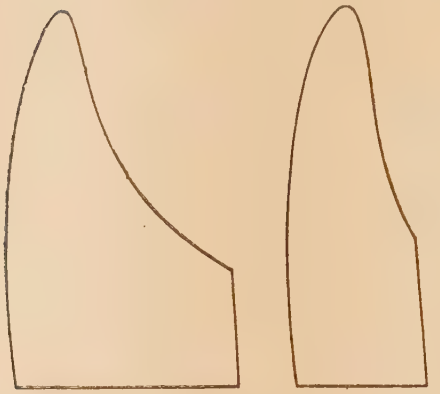
P^H = 5.75 à 5.80
P = 49
G = 18.2
Volume = 331 cm^3



P^H = 5.45
P = 48
G = 15.6
Volume = 243 cm^3


p^H = 5.95
P = 60
G = 22.6
Volume = 511 cm³
(a)
farine fraiche
p^H = 5.65
P = 57
G = 17.9
Volume = 320 cm³
(b)
farine après 6 mois
p^H = 4.90
P = 99
G = 14.8
Volume = 219 cm³
(c)
farine
après 11 mois

Types de farines avariées



$P^H = 5.45$ $P^H = 4.80$
$P = 62$ $P = 64$
$G = 13.7$ $G = 11.5$
Volume = 188 cm³. Volume = 132 cm³.

ne peut se produire qu'en tant qu'il n'y a pas destruction anatomique ; un grain de blé en état de germination peut augmenter en diastases sa réserve amylacée. La mouture détruisant l'agencement du grain, il peut se créer difficilement de nouvelles diastases au sein de la farine. Si alors les farines avariées produisent plus de sucre que les farines saines, cela ne peut provenir d'un accroissement en diastases mais uniquement des changements de la réaction du milieu, les ions H agissant comme accélérateurs sur les diastases en modifiant leurs propriétés physico-chimiques. Nous venons de voir les changements considérables que peut subir la réaction d'une farine et qui peuvent expliquer à eux seuls l'augmentation considérable du sucre diastasique dans les farines avariées. En effet, en nous reportant à notre étude théorique, nous avons vu que la production de sucre à pH 5 est sensiblement le double qu'à pH 6 (3,15 gr. contre 1,40 gr.). Dans notre tableau des farines de la page 63 figurent quelques farines avariées. Les farines (*a*) et (*b*) ont un pH de 4,8 et de 5,05, la production

de sucre diastasique après 6 heures est de 6,05 et 5,53 gr. contre 2,80 gr. en moyenne pour des farines saines. Comparativement à ces résultats on examinera utilement leurs qualités plastiques absolument défectueuses.

Il nous avait paru également intéressant de suivre les modifications que subissait une farine au cours de sa conservation, en l'étudiant à l'état frais puis après quelques mois. Cette étude n'a pas été faite dans le but d'examiner les conditions de conservation ordinaires. Pour éviter la dessication, nous avons mis la farine en boites hermétiquement closes. Notons déjà, que cette condition de conservation est des plus mauvaise. Nous tenons à préciser ici la façon dont nous avons procédé au dosage de l'azote soluble. N'ayant pas encore fait d'étude systématique sur les phénomènes protéolytiques dans les farines, voici comment nous avons procédé pour avoir toujours un même étalon de mesure. Nous avons préparé dans les conditions habituelles une suspension que nous avons maintenue pendant une heure à la température de 20° C. De l'extrait, 50 cm³ ont été concentrés convenablement puis soumis au Kjeldahl par la méthode habituelle. Conversion de l'azote en susbstances azotées par l'emploi du coef. 6,25, les résultats étant rapportés à 100 gr. de farine substance sèche.

Pour la panification nous avons laissé entière liberté au boulanger en le prévenant cependant de la qualité probable des farines. L'essai de panification est fait sur 5 kg. de farine. La détermination du volume et de la densité est faite par la méthode aux graines sur 7 pains longs à la fois. Les volumes indiqués ne sont pas rapportés à 1 kg. de pain mais correspondent au pain provenant de 1 kg. de pâte. Nous préférons indiquer le volume de cette façon, le degré de cuisson n'intervenant plus alors.

Nous croyons que nulle étude ne peut mieux illustrer la relation intime qui existe à la fois entre le pH et les qualités plastiques d'une part, et la saccharification diastasique d'autre part. La farine N° 1, (p. 113) dans le même laps de temps, a bougé davantage que la farine N° 2. Son pH est descendu d'une unité entraînant des modifications profondes de la plasticité ;

cette farine est devenue au bout de 5 mois de conservation absolument impropre à la panification. Le sucre diastasique a augmenté considérablement et très sensiblement dans les proportions théoriques correspondant à la variation de pH 6 à 5. On admettra sans doutes que l'augmentation du sucre diastasique provienne uniquement des variations de pH et non pas d'une augmentation de substances douées de propriétés diastasiques. Le pain que nous avons obtenu sur la farine de 5 mois était absolument défectueux ; il était très lourd, sa mie serrée. Il suffit d'ailleurs de comparer les volumes et les densités de pain pour voir la diminution considérable de la valeur boulangère.

Voyons la farine N° 2 ; un coup d'œil sur ses constantes physiques nous montre que celle-ci a moins souffert ; on constate une régression du gonflement de 20,9 à 18 contre 20,2 à 13,6 pour la farine N° 1. La farine s'est incontestablement modifiée dans le même sens mais sans aller toutefois aussi loin. Si cette modification est due, comme nous venons de le soutenir, à des changements de pH, sa réaction du milieu ne devait pas varier considérablement. En effet, le pH n'est descendu qu'à 5,85. Le pouvoir diastasique n'a augmenté que peu aussi et la qualité du pain est restée bonne. Comparons encore les qualités du gluten et les variations de l'azote soluble ; l'ensemble de ces données prouve que la qualité boulangère d'une farine baisse au fur et à mesure que le pH se déplace de 6 vers 5.

On ne peut maintenant vraiment pas admettre que la qualité diastasique représente le facteur essentiel de la valeur boulangère d'une farine ; si l'intensité de la fermentation est maximum à pH 5, la pâte ne peut en profiter ayant perdu complètement ses bonnes qualtés plastiques. Une farine de pH 5, ayant par conséquent un P. D. très élevé, est absolument impropre à la panification. On nous objectera alors que si une farine doit posséder un bon P. D. moyen, celui correspondant à une farine de pH 5 est excessif, les corrections à apporter au P. D. ne devant pas dépasser certaines limites. Soit, mais profitons des résultats de l'essai avec la farine N° 2

Farine N° 1. — 80 % de blés indigènes. — Durée de conservation 5 mois.

Farine	Eau	Gluten		Mat. azotées		pH	Sucre diastasique				Pain	
		hum.	sec	sol.	tot.		pré	1/4 H	1 1/2H	6 H	Volume	Densité
Fraiche.....	14,7	28,7	10,0	1,53	11,27	6,05	0,37	1,05	1,92	3,12	3416	0,221
5 mois.....	14,7	21,8	8,1	4,18	11,30	5,05	0,37	1,43	3,01	5,53	2620	0,330

Extensimètre Chopin :

Farine fraîche P = 47 G = 20,2 Volume = 408 cm³ W = 107
Far. apr. 5 mois P = 55 G = 13,6 Volume = 185 cm³ W = 81

Farine N° 2. — 100 % de blés de force. — Durée de conservation 5 mois.

Farine	Eau	Gluten		Mat. azotées		pH	Sucre diastasique				Pain	
		hum.	sec	sol.	tot.		pré.	1/4 H	1 1/2H	6 H	Volume	Densité
Fraiche	14,3	28,7	10,2	1,70	13,46	6,00	0,28	1,03	1,76	2,75	3620	0,210
5 mois.....	14,2	25,5	9,4	1,75	13,44	5,85	0 29	1,04	1,84	3,16	3555	0,220

Extensimètre Chopin :

Farine fraîche P = 64 G = 20,9 Volume = 437 cm³ W = 177
Far. apr. 5 mois P = 67 G = 18 Volume = 324 cm³ W = 150

pour tirer alors les conclusions. La farine N° 2 n'a bougé que très faiblement, le pH est allé de 6,0 à 5,85 entraînant une légère augmentation du sucre diastasique de l'ordre de 15 % à peine. En ajoutant, comme nous le verrons plus loin, au sucre diastasique encore 1,70 gr. environ de saccharose préexistant, qui participe également à la fermentation, le gain en sucre diastasique par rapport aux sucres disponibles se réduit à 9 % environ. Nous pouvons difficilement admettre alors que des variations de cet ordre puissent influer sérieusement sur la valeur réelle d'une farine. En attendant, l'ensemble de nos essais nous a prouvé le contraire, à savoir que toute augmentation du P. D. provoquée soit artificiellement, soit naturellement par des changements de pH agit défavorablement sur la plasticité des pâtes.

En serrant ainsi de plus en plus les limites d'acidité entre lesquelles peuvent se mouvoir les farines panifiables, nous arrivons enfin au problème de la maturation des farines. Nous avons déjà signalé à l'entrée de cette étude que la farine ne possédait son optimum de qualité qu'au bout de quelque temps après la mouture. Mais nous venons de voir aussi qu'une farine en vieillissant présente des changements de réaction allant toujours dans le même sens. On a reconnu dans cette acidification naturelle la cause principale de l'augmentation de la valeur boulangère. L'observation du phénomène a démontré que de faibles variations d'acidité agissent favorablement sur la qualité de la farine en augmentant son P. D. Nous venons de démontrer combien est faible cette augmentation pour une variation de l'ordre de 0,2 pH. Quelle peut être normalement l'acidification que peut subir une farine par des modifications internes d'ordre purement physico-chimique et enzymatique ? Nous ne pouvons en effet considérer comme phénomène de maturation que cette sorte de réactions. Les variations de la réaction du milieu au cours de cette maturation ne peuvent être considérables ; en voici la raison : pour qu'il y ait augmentation d'acidité dans la farine — supposée stérile — il faut qu'il y ait hydrolyse, c'est-à-dire mise en liberté de fonctions acides organiques

ou minéraux. Les amino-acides et les phosphates sont les principaux facteurs susceptibles de faire varier la réaction d'une farine. Les réactions qui peuvent se produire au sein de la farine au cours du vieillissement sont donc à peu près les mêmes que celles qui se produisent soit pendant la germination du grain, soit au sein de la pâte au cours de la fermentation avec cette différence que ces transformations s'opèrent dans la farine au repos avec une extrême lenteur et de façon tout à fait incomplète, s'il est permis de s'exprimer ainsi. Or quelles sont les variations de pH que l'on peut constater soit dans un grain en germination, soit au sein d'une pâte abandonnée pendant quelques heures à l'autodigestion ? Nous avons fait de nombreux essais dans ce sens et n'avons jamais pu constater de diminution de pH supérieure à 0,15 avec 0,10 en moyenne. Ainsi une farine de pH 6,15 descend à 6,05 ou 6,00 après 3 à 4 heures d'autodigestion, laps de temps pendant lequel nous pouvons supposer que les déplacements de pH sont dûs pratiquement aux seuls phénomènes enzymatiques. L'acidification naturelle de la farine est faible par conséquent. A cette acidification naturelle on substitue de plus en plus la maturation artificielle soit au chlore, au peroxyde d'azote, etc... D'après les gens ayant étudié la question de la maturation des farines, l'une des principales conséquences de l'acidification réside dans l'augmentation du P. D. Nous venons de voir tout à l'heure quel peut être l'ordre de grandeur de cette augmentation. Si l'acidification par maturation détermine obligatoirement une légère augmentation du P. D., les modifications que subit la farine sont d'ordre physico-chimique surtout. La maturation naturelle descend donc une farine de pH 6 par exemple à pH 5,85 où elle se maintient plus ou moins longtemps suivant la qualité des blés et leur nettoyage, suivant son humidité et les conditions de conservation. Les farines très sèches par exemple et emmagasinées dans de bonnes conditions se conservent pendant des mois avec un pH constant ; leurs qualités plastiques cependant continuent à se modifier très sensiblement, phénomène où par conséquent la réaction du milieu n'entre pour rien.

Les pâtes augmentent généralement de tenue et le pain prend meilleur aspect. Ces changements sont donc d'ordre purement physico-chimique. Cependant au-delà d'une certaine période maximum toute farine continue à se modifier, sa réaction devenant de plus en plus acide. Quelles en sont alors les causes déterminantes, cette acidification prononcée ne pouvant provenir ni de réactions physico-chimiques ni de réactions enzymatiques ? Il suffit de flairer une farine franchement avariée pour constater d'après l'odeur dégagée qu'il y a végétation intense de microorganismes. En effet, toute farine, aussi pure qu'elle soit, est infectée de microorganismes de toute sorte qui végétaient sur le grain de blé. Par la mouture ceux-ci se mélangent à la farine où ils continuent à se développer avec une intensité qui dépend de l'humidité et des conditions d'emmagasinage de la farine. Pour cette raison il est très difficile de distinguer les modifications d'ordre purement physico-chimique, qui transforment la farine fraîche en farine rassie, des modifications dûes au développement des microorganismes.

Les farines avariées sentent le plus souvent le moisi ; elles sont en effet généralement infectées de spores de moisissures, de levures sauvages, torulas et bactéries. Les fortes diminutions du pH des farines de 6 à 5 ne peuvent donc provenir que des produits de digestion de nature acide de ces microorganismes. Nous avons vu tout à l'heure que la simple mise en liberté de fonctions acides par action diastasique ne peut faire varier le pH que de 0,2 unités au maximum au sein de la farine ; il faut donc considérer toute baisse de pH plus considérable comme étant due à des acides plus forts créés par la microflore qui envahit petit à petit la farine. Il y a donc lieu de considérer une farine ayant un pH égal et inférieur à 5,80 comme se trouvant à la limite des farines saines. Voici d'ailleurs l'avis d'un chercheur qui a confirmé entièrement notre point de vue : D'après E. Berliner (19) une farine peut être avariée par des moisissures mais elle peut être avariée sans qu'il y ait eu action de moisissures. Le développement de spores de moisissures donne

lieu immédiatement à une baisse de pH avec diminution considérable de la valeur boulangère. La limite inférieure de la bonne valeur boulangère se trouverait à pH 5,85 ; en principe les farines saines ne se trouvent pas en dessous de pH 5,95 alors que les farines de pH compris entre 5,85 et 5,50 ne sont plus « normales », elles sont avariées mais possèdent encore une certaine valeur boulangère. Les farines de pH inférieur à 5,5 ne sont plus panifiables. Dans un essai de conservation E. Berliner avait trouvé que le pH d'une farine, conservée dans de bonnes conditions, ne variait que de 6,1 à pH 5,90. Pour cette farine le pouvoir diastasique au bout de 1 an n'avait pas varié pratiquement, faisant 20 à 23 degrés d'après la vieille méthode de Lindner (22). D'après des essais faits en grand, il est démontré que des farines de 14,5 à 16 % d'eau conservées en toiles dans les conditions habituelles s'avarient au bout de 6 mois au maximum par développement de spores de moisissures et que ce développement continue encore même dans les farines à 14 % d'eau. L'auteur dit que les pâtes de farines avariées acides sont très fermes mais sans cohésion ; elles fermentent très vite au début mais ne peuvent retenir le CO^2 de fermentation ; au four les pâtes déchirent et, au lieu d'augmenter de volume, se contractent plutôt. En ce qui concerne les qualités plastiques des farines acides, Berliner est donc aussi absolument d'accord avec nos constatations à l'extensimètre Chopin. L'augmentation du pouvoir diastasique ne sert donc à rien du moment que la plasticité des pâtes devient, parallèlement avec cette augmentation, défectueuse. Berliner constate par contre que le P. D. des farines dans de bonnes conditions de conservation ne change pas pratiquement ; l'amélioration de la valeur boulangère que subit une farine en murissant est donc d'ordre purement physico-chimique. Quant à la classification de la valeur boulangère des farines aux divers pH, nous partageons en principe l'avis de Berliner, mais il ne faudrait pas vouloir appliquer ces données les yeux fermés. Ainsi avons-nous souvent constaté que deux farines de pH égal, faisant 5,65 par exemple, étaient l'une encore panifiable relativement, alors que l'autre était

absolument avariée. Il y a en effet encore d'autres facteurs que l'acidité qui sont susceptibles de modifier plus ou moins profondément les qualités plastiques de la pâte. D'abord deux farines à l'état tout à fait sain peuvent déjà présenter des différences de plasticité suivant les blés dont elles sont issues ; à l'extensimètre l'une pouvait avoir un gonflement = 22, et l'autre un G = 19. Il va de soi que la régression obligatoire du gonflement au cours de l'acidification mènera la première à une valeur moins basse que l'autre. Nous avons enfin déjà vu que l'action de la température agit de la même façon que les acides. Certaines farines perdront donc leur plasticité bien plus rapidement si accidentellement elles subissent l'action simultanée de la température et de l'acidification. Ainsi, suivant les conditions, une farine de pH 5,80 pourra être plus mauvaise qu'une autre de pH 5,50.

Nous n'avons pas été les seuls à constater encore d'autres anomalies dans les pH de farines manifestement avariées. Dans notre tableau des farines de la page 63 nous avons porté une farine (*c*) avariée par mouillage qui présente la particularité de posséder un pH de 6,40. La teneur très faible en gluten humide et sec, l'allure tout à fait défectueuse du diagramme Chopin dénote une farine aboslument impropre à la panification. L'allure diastasique ne présente rien d'anormal, la farine se classant parmi nos blés indigènes très humides. Nous insistons encore sur ce fait pour prouver la dépendance absolue du pouvoir diastasique du pH. Berliner et Sharp (19) ont eu l'occasion d'observer de semblables phénomènes en suivant la réaction du milieu d'une farine mois par mois. Il a été constaté que le pH d'abord en baisse remontait subitement pour redescendre, phénomène qui se produirait plus particulièrement dans les farines basses ou à taux d'extraction très poussé. Une farine basse saine conservée en toile dans des conditions habituelles présentait à l'intérieur de 1 an ½ les variations de pH suivantes : 6,53, 6,30, 6,20, 5,10, 5,95, 6,10, 6,00, 5,90, 5,40, 5,80, 5,20.

Il y a, à notre avis, du vrai dans l'allure de ce phénomène, mais nous ne pouvons l'accepter dans toute son ampleur.

La farine logée en toile ne s'abîme pas avec la même intensité dans toute la masse. On trouvera toujours des foyers où le développement des microorganismes aura été plus intense, soit au milieu du sac, soit en bas ou sur les côtés. Autrement dit la masse de farine, en se décomposant, ne présente rien d'homogène et il suffit d'une prise d'essai mal faite pour tomber sur un endroit où la farine est plus abîmée qu'à un autre et c'est ainsi que nous nous expliquons les variations profondes des pH signalées dans les essais de BERLINER. La farine de pH 6,40 dont nous parlions tout à l'heure était une farine de taux normal ayant eu à l'état frais un pH normal de 6,10. L'avarie lui est survenue en bateau par infiltration d'eau. La partie mouillée était prise en bloc et s'était mise à fermenter. Il y avait à l'intérieur de la masse agglomérée de la farine très abîmée de couleur grisâtre et des parties moins touchées encore blanches. Le pH de la masse grise, prise séparément, faisait 7,10 et la partie encore bonne prise à côté faisait 4,80. Nous avons réduit l'ensemble et tamisé pour homogénéiser le tout sur lequel nous avons fait nos essais habituels et dont les résultats figurent sur le tableau de la page 63 (sous *c*). Le pH de 6,40 résulte donc des deux parties prises d'abord séparément ayant fait pH 7,10 et 4,80 respectivement. La plasticité devait rester obligatoirement mauvaise malgré le pH actuel de 6,40, la farine ayant subi préalablement à la fois l'action de pH inférieurs à 6 et des modifications profondes du gluten par les microorgainsmes. La saccharification diastasique par contre opérée à pH 6,40 devait rester sensiblement la même qu'avec qu'avec des farines saines, l'action diastasique n'étant détruite qu'à pH 3 environ.

En ce qui concerne maintenant les variations de pH de farines, il y a au début régression de 6 vers 4,50 environ ; à partir de ce moment le pH réaugmente pour dépasser très sensiblement sa valeur initiale. Si l'on cherche à expliquer l'allure du phénomène, la première diminution du pH de 6 vers 5,80 doit être attribuée aux réactions internes de la farine, de 5,80 vers 5 et 4,50 à la formation d'acides par action microbienne puis enfin l'augmentation du pH de 4,50 à 6,50 et plus,

à la mise en liberté de fonctions basiques résultant sans doute d'une véritable fermentation ammoniacale de la part des bactéries. Si dans la première phase allant de 6 à 5 il est à la rigueur encore permis d'évaluer certaines qualités boulangères, il n'en est plus question pour un produit qui est arrivé à ce tournant. En effet, la réaugmentation du pH dénote une mise en liberté de bases fortes qui ne peuvent résulter que d'une modification chimique très profonde touchant de près la putréfaction qui seule peut donner naissance à des bases fortes ammoniacales susceptibles de contrebalancer l'acidité. Ainsi voyons-nous que les farines sont exposées aussi bien à l'action des acides que des bases entraînant ainsi des variations de pH. Dans un travail qui date déjà de quelques années nous avons voulu nous rendre compte de l'ordre de grandeur des variations de pH que pouvaient subir les farines sous l'action des acides et des bases. La composition chimique de la farine laisse en effet prévoir l'existence de propriétés tampons susceptibles de s'opposer à des variations trop considérables de la réaction. Nous donnons cette étude à titre purement documentaire, car elle sort entièrement du sujet que nous traitons. Dans une première série d'essais nous avons préparé des solutions d'acide sulfurique et de soude pure ayant des pH allant depuis la forte acidité à l'alcalinité très prononcée. Dans chaque solution, de pH défini, nous mettons en suspension une même quantité de farine ; on passe la suspension à la centrifugation puis on procède à une nouvelle mesure du pH sur ces extraits débarrassés des principes solides de la farine. Pour une même liqueur on obtient ainsi une valeur de pH avant et après passage de la farine. Dans tous les cas la farine cherche toujours à ramener le pH des liqueurs vers la réaction normale et habituelle. Ainsi pour des variations de pH des liqueurs pures allant de 2 à 12, celles-ci ont été ramenées de 4,5 à 6,5 après passage à la farine. Les farines possèdent donc un système régulateur très prononcé qui s'oppose aux variations profondes de la réaction. Il est vrai que l'acide et la base pure sont très peu tamponnés et cèdent facilement. Dans une deuxième série d'essais nous

avons alors voulu nous rendre compte si le phénomène persistait encore en opérant cette fois sur des mélanges acides et basiques eux-même fortement tamponnés. Dans ce but nous avons procédé exactement de la même façon mais en employant des mélanges fortement tamponnés acides : acide acétique-acétate de soude, et des mélanges basiques : ammoniaque-chlorhydrate d'ammonium. Ici la lutte est plus dure, les deux substances cherchant à maintenir leurs positions. La farine réussit quand même à décrocher sensiblement le pH des mélanges tampons et à le ramener dans ses parages. Les pH extrêmes des mélanges tampons qui étaient initialement de 8,10 et 3,85 sont ramenés à 6,60 et 4,40.

Cette étude nous permet de nous rendre compte des quantités élevées d'acide ou de base qu'il faut pour décrocher sensiblement le pH de sa valeur normale. Cette propriété est de grande importance, car nous avons vu le rôle considérable que joue le pH sur la plasticité des pâtes de farine. L'étude des propriétés tampon a son importance dans le domaine de la maturation artificielle des farines. Les américains et les anglais traitent depuis des années les farines en vue d'une maturation plus rapide ou de leur blanchîment. On se sert généralement du chlore en combinaison labile (trichlorure d'azote) qui agit sur la carotine et qui forme avec l'humidité de la farine des traces d'acide. Dans un autre procédé électrique on emploie le peroxyde d'azote qui agit de la même façon donnant naissance à des traces d'acide nitreux. Il faut être très prudent dans l'emploi de ces réactifs, tout excès agissant dans le sens de l'acidification naturelle des farines.

L'étude des propriétés tampon des farines permet de fixer l'intensité avec laquelle on peut traiter les farines sans risques de les abîmer. Pour cette raison les farines basses de pH 6,4 à 6,15 se prêtent à un traitement plus intense et y gagnent plutôt que les farines de cœur de pH 6,15 à 5,95 moins résistantes aux variations de la réaction du milieu. D'après nos propres études sur cette question, les modifications que subissent les farines ainsi traitées, sont exclusivement d'ordre physico-chimique et non diastasique. En effet, il en est ici

comme dans le cas de l'acidification naturelle, l'augmentation du pouvoir diastasique étant l'indice d'un traitement trop poussé, qui a comme conséquence très grave la détérioration plus ou moins complète de la plasticité.

Nous avons terminé notre travail sur les phénomènes diastasiques dans les farines. Dans une première étude purement théorique nous avons démontré le rôle des divers facteurs qui régissent ce phénomène, ce qui nous a permis d'élaborer une méthode de détermination du pouvoir diastasique et dans laquelle il est tenu compte, dans la mesure du possible, des conditions habituelles de la panification. Dans une deuxième étude nous nous sommes adressé à une multitude de farines de provenance et de composition aussi diverses que possible pour voir quel pouvait être l'ordre de grandeur des différences rencontrées dans le pouvoir diastasique. La quantité de maltose diastasique qui peut se former au cours des opérations de la panification qui précèdent la cuisson est faible; en moyenne il se forme au bout de deux heures environ 1;85 gr. et au bout de 6 heures 2,95 gr. de maltose. Avec l'étude quantitative des phénomènes diastasiques sur un grand nombre de farines de diverses compositions nous croyons avoir mis une fin aux idées plutôt légendaires que l'on avait généralement à ce sujet. L'étude enfin de blés et de farines avariés nous a confirmé l'exactitude de nos expérimentations. En principe le pouvoir diastasique dépend de la quantité de diastase ou de la qualité des substances douées de propriétés diastasiques, de la nature des substances amylacées et de la réaction du milieu. Sans exceptions, un pouvoir diastasique trop élevé, qu'il provienne d'un excès de diastases ou d'un pH trop bas, est l'indice de mauvaises qualités boulangères, l'optimum de plasticité ne se couvrant pas avec les conditions optima de la saccharification diastasique. Le sucre produit au cours d'une fermentation normale, en aussi faible quantité qu'il soit, suffit largement à la fermenation panaire, les qualités plastiques étant la condition primordiale pour la bonne rétention des gaz de fermentation. A pH 5 la saccharification

diastasique et la fermentation sont maxima, mais la plasticité des pâtes est mauvaise.

L'étude des qualités diastasiques permet de savoir si une farine provient de blés germés, si elle est propre ou impropre à la panification. On commencera donc à tracer d'abord la courbe de saccharification de la farine, définie par le sucre obtenu au bout de ¼ d'heure, de 2 et de 6 heures. Si cette courbe dépasse considérablement la courbe moyenne des farines panifiables dénotant ainsi une production anormale de sucre diastasique, on s'assurera d'abord par une simple touche colorimérique au rouge de méthyle opérée sur le pékar humide, si la farine possède un pH normal de 6 environ ou non. Si la farine est très acide (pH 5) son pouvoir diastasique élevé provient de cette acidité anormale ; par conséquent sa plasticité est mauvaise et la farine sent le plus souvent le moisi. Si le pouvoir diastasique de la farine est élevé, mais le pH normal, la farine provient sans doute de blés plus ou moins germés et il y a lieu de vérifier les qualités plastiques de la pâte qui dans ces cas laissent généralement à désirer aussi. Les blés Amber Durum font une exception à cette règle, possédant à pH normal et à l'état sain et non germé un pouvoir diastasique très élevé ; nous insistons cependant sur leurs mauvaises qualités plastiques.

En somme, l'examen des qualités diastasiques peut se joindre utilement aux autres évaluations analytiques généralement pratiquées pour l'évaluation de la qualité des farines. Il peut arriver, dans des litiges surtout, qu'à part le résultat à la panification, il se pose la question de la provenance possible, de la fraîcheur d'une farine, à savoir si la farine est saine ou si elle est de qualité douteuse. Seul un grand nombre d'essais dirigés dans tous les sens permet de classer avec exactitude la farine dans l'une ou l'autre catégorie, et nous avons la certitude que l'étude comparative du pouvoir diastasique est dans la plupart des cas susceptible d'apporter au jugement sa bonne confirmation.

CONCLUSIONS DE LA DEUXIEME PARTIE

1) Dans les farines livrées au commerce, de provenance et de composition très diverses, nous n'avons pu trouver qu'un écart maximum de 18 % entre la farine à plus faible et celle à plus forte valeur diastasique, alors que leurs valeurs plastiques présentent des variations pouvant aller du simple à plus du double.

Les essais comparatifs de panification étaient sans exception en faveur des farines à bonnes qualités plastiques et non en faveur des farines de P. D. élevé.

2) Dans les farines d'essai de blés purs de provenance très diverses, les variations observées du P. D. sont bien plus importantes ; de la plus faible valeur à la plus forte il y a un écart de 76 %.

En général ce sont les blés les plus secs qui possèdent le P. D. le plus faible ; mais en comparant les valeurs diastasiques aux valeurs plastiques, on constate que les farines de blés à faible et à forte valeur diastasique sont plastiquement les plus mauvaises.

Pour faire du beau pain il faut donc des farines qui possèdent avant tout de bonnes qualités plastiques avec un P. D. de valeur plutôt moyenne.

3) Le sucre diastasique qui se forme dans les farines dépend :

a) de la quantité ou de la qualité des substances douées de propriétés diastasiques,

b) de la nature de l'amidon des farines.

4) Les farines ne contiennent qu'une très faible proportion de substances amylacées solubles (dextrines).

5) Au cours de la fermentation panaire il y a attaque de l'amidon globulaire par les diastases.

6) *Farines de blés avariés :*

a) Les farines de blés germés possèdent un P. D. d'autant plus élevé que la proportion de grains germés et l'état de germination sont considérables.

La valeur boulangère de ces farines est mauvaise.

b) L'échauffement des blés est surtout un phénomène de surface, résultant de la pullulation des nombreux microorganismes qui vivent à la surface des blés humides et sales.

Cet échauffement n'agit pas très sensiblement sur le P. D. des farines mais sur leur plasticité provoquant une dénaturation plus ou moins profonde du gluten.

La pratique du conditionnement des blés diminue le P. D. parce que les farines faites de blés conditionnés sont plus pures, pratiquement exemptes de particules périphériques du grain riches en diastases.

7) *Farines avariées :*

a) Les farines panifiables non altérées possèdent un pH compris entre 5,95 et 6,20.

Au cours de la maturation des farines cette valeur ne change pas pratiquement.

Les variations profondes du pH des farines déplaçant sa valeur de 6 vers 5 et parfois moins encore, proviennent uniquement de l'action des microorganismes dont les farines sont infectées.

b) Les farines acides possèdent des P. D. très élevés en fonction de la valeur du pH.

c) Si pH 5 correspond à l'optimum de la fermentation, cette valeur ne se couvre pas avec l'optimum de plasticité des pâtes qui est de pH 6.

Les pâtes plastiquement défectueuses à pH 5 donnent un pain serré, ne pouvant retenir le CO^2 de fermentation aussi considérable qu'il soit.

d) L'avarie des farines se traduit le plus généralement par le déplacement du pH de 6 vers 4,40 au maximum ; dans

les cas rares de très fortes altérations la valeur du pH peut être supérieure à la normale (6,30 à 6,60) et résulte de la mise en liberté de bases fortes.

e) La farine étant un milieu fortement tamponné, l'action brutale des fonctions acides ou basiques mises en liberté est très atténuée.

L'étude des qualtés diastasiques ainsi que celle du pH permet de savoir si une farine provient de blés germés, si elle est propre ou impropre à la panification.

A l'intérieur de la gamme des farines saines et panifiables le P. D. à lui seul n'est pas un indice de la bonne ou mauvaise qualité boulangère.

TROISIEME PARTIE

Les besoins de la levure de boulangerie en sucre fermentescible

Evaluation de la quantité de sucre nécessaire à la levure pour faire un pain normalement développé

Dans ce deuxième chapitre nous abordons notre seconde grande étude sur la quantité de sucre nécessaire à la levure pour produire un pain d'aspect et de volume ordinaires.

Après avoir dégagé et étudié séparément les principaux facteurs qui déterminent la valeur d'une farine, facteurs d'ordre physico-chimiques et enzymatiques, cette étude nous semble devenue plus facilement accessible. Au cours des expérimentations qui suivront nous avons rencontré encore pas mal de points obscurs ayant trait à la saccharification diastasique et qui auraient dû trouver leur place dans le chapitre précédent. Mais comme nous n'avons pu les dégager qu'au cours de cette étude nous devons, pour suivre fidèlement le fil de nos recherches, les développer ici même et ce présent travail complètera en l'espèce la première étude diastasique. Ainsi ne pouvons-nous donner notre conclusion définitive sur l'utilité ou « l'extrême importance » du pouvoir diastasique pour l'évaluation de la valeur boulangère d'une farine qu'à la fin de la présente étude.

D'après les nombreux dosages, la quantité de sucre réducteur préexistant dans la farine est très faible et est comprise

entre 0,20 et 0,60 gr. dans l'ensemble des blés sans distinction y compris même les blés à forte proportion de grains germés. Ces quantités sont manifestement insuffisantes à la levure pour faire lever normalement la pâte. L'enrichissement de la pâte en sucre par action diastasique est donc indispensable. L'étude quantitative du phénomène nous a démontré qu'il y a des différences dans la production du sucre diastasique ; ces différences sont plus faibles dans les diverses farines de fabrication livrées au commerce que dans les farines expérimentales préparées à partir des blés purs de provenance diverse. Nous avons déjà insisté sur les raisons qui tendent à unifier de plus en plus les farines commerciales qui résultent généralement d'un mélange de blés de diverses provenances. Ainsi les diverses farines du commerce ne s'éloignent que peu de la valeur moyenne et il est permis d'admettre que ces faibles variations en plus ou en moins ne soient pas susceptibles d'intervenir sérieusement dans l'évaluation de la valeur boulangère d'une farine. Nous avons d'ailleurs démontré combien ces variations paraissaient peu à côté des différences tout à fait considérables que pouvaient présenter les qualités plastiques de sorte qu'alors déjà on se demandait si vraiment un faible défaut de sucre pouvait être la cause d'un mauvais développement panaire malgré les parfaites qualités plastiques de la pâte et enfin si un excellent pouvoir diastasique était en mesure de corriger quelques défectuosités de l'état plastique d'une farine. Cependant, si ces réflexions semblent justes pour les farines de fabrication, il n'en est pas de même pour les farines de blés purs où l'on rencontre en effet des écarts plus considérables, les blés durs et secs produisant en règle générale peu de sucre diastasique et les blés tendres humides beaucoup. Ainsi qu'il arrive dans nos région, certains moulins de faible production ne procèdent pas à des mélanges et écrasent par conséquent du blé d'une même provenance ou d'une même espèce. Ainsi notre blé Tuzelle de l'Aude moulu pur donne une farine qui ne produira que la moitié de sucre diastasique de celui de la farine de notre blé du Nord (1,74 gr. contre 3,40 gr). Il n'est pas permis d'ignorer des écarts de cette

importance, car il semble bizarre, à priori, que deux farines ayant sensiblement les mêmes qualités plastiques puissent se comporter de façon différente à la fermentation si l'une est susceptible d'offrir une plus grande quantité de sucre à la levure que l'autre. Restons pour cela à notre exemple type ; au point de vue plastique la farine de Tuzelle est aussi médiocre que la farine de blé du Nord, mais comme les deux farines diffèrent essentiellement dans le pouvoir saccharifiant, il serait possible que la farine pauvre produise un pain de plus faible volume à la suite d'un manque de sucre. L'essai pratique nous a cependant démontré qu'il n'en était rien, le pain obtenu avec ces deux farines était de faible volume et la mie plutôt serrée. Par conséquent la farine produisant le double de sucre diastasique n'avait pu produire du pain de meilleur aspect. De cette observation nous concluons qu'un minimum de sucre devra être nécessaire à la farine, la fermentation pourra être plus ou moins rapide selon la concentration en sucre, mais la levure puisera dans la réserve pour y prendre un minimum qui lui est strictement nécessaire.

Nous nous sommes donc proposé de mesurer ce minimum de sucre qu'il sera intéressant de comparer par la suite au sucre diastasique disponible dans les diverses farines. Nous ne sommes certes pas les premiers qui cherchons à mesurer la quantité de sucre disparu à la fermentation. Mais pour évaluer les pertes en sucre nous allons suivre un autre chemin que celui qu'on prenait habituellement pour cette sorte d'évaluation. En principe il y a deux façons de procéder à cette mesure ; l'une qui techniquement semblait la plus accessible jusqu'ici consistait à mesurer l'acide carbonique de fermentation dégagé et de calculer d'après la formule de Pasteur la quantité de sucre correspondant au CO^2 recueilli. Malgré toutes les précautions prises les résultats sont très imprécis, car il est très difficile d'arriver à l'évacuation pratiquement complète du CO^2 dissous dans la pâte. Contrairement à cette technique nous avons voulu résoudre le problème plus directement en dosant le sucre avant et après fermentation, la différence devant nous donner la quantité de sucre disparue.

Profitant de l'expérience faite au cours de nos études diastasiques, nous croyions pouvoir résoudre avec plus de facilité et d'exactitude surtout le problème des besoins minima en sucre fermentescible. Le problème par lui-même paraît très simple, mais nous verrons plus loin les difficultés qui se présentent et ne permettent pas non plus de résoudre intégralement la question.

En suivant cette nouvelle voie il nous a cependant été possible de mettre le jour sur le mécanisme de la fermentation, la participation des diverses substances, et de préciser d'une manière définitive l'allure qualitative et quantitative du phénomène. Nous avons étudié la fermentation uniquement au point de vue de la participation des matières hydrocarbonées ; si l'on envisage alors le nombre de ferments qui interviennent uniquement déjà dans la fermentation purement alcoolique, on se rend à peu près compte de la complexité de l'ensemble des réactions qui se passent au sein d'une pâte au cours des opérations de la panification.

Voici comment nous voyions au début de notre travail le problème sous sa forme en apparence très simple. Ayant établi pour une farine la courbe complète de la saccharification diastasique qui nous indique à chaque moment la quantité de sucre fermentescible présent dans une suspension, il suffit de procéder avec cette farine aux mêmes essais mais en incorporant une certaine quantité de levure correspondant à la proportion moyenne employée pour la panification par travail direct. La levure ferait disparaître par fermentation une certaine quantité — soit une partie, soit le tout — du sucre produit par action diastasique. En traçant alors une deuxième courbe correspondant au sucre restant après fermentation, l'intervalle entre les deux courbes représenterait le sucre disparu par fermentation tout le long de l'échelle des temps. Nous nous sommes donc engagé dans cette voie qui ne manquait pas de nombreuses embuches.

En faisant ainsi nous admettions d'abord que le sucre diastasique est pratiquement le seul fournissant l'énergie nécessaire à la levure, les traces d'autres sucres pouvant être

négligées pratiquement. Nous admettions ensuite contrairement au schéma publié par Karl Mohs (2), (20) dans sa « Mehlchemie » et Schmorl (21), que la levure ne possédait aucun élément propre pour saccharifier l'amidon, c'est-à-dire pour créer du sucre par action enzymatique. Nous admettions enfin qu'en opérant sur une suspension, comme pour l'évaluation du pouvoir diastasique, l'allure quantitative de la fermentation ne subirait pas de changement considérable. Avant de pouvoir procéder aux essais proprement dits nous avons dû examiner d'abord les conditions dans lesquelles on pouvait arrêter net à la fois les deux phénomènes qui marchent de pair la saccharification diastasique d'une part et la fermentation alcoolique d'autre part. Dans notre méthode pour la détermination du P. D. nous arrêtons l'action des diastases en ramenant la réaction du milieu à pH 3 par adjonction d'acide sulfurique. Il s'agissait donc de savoir si à pH 3 l'action de la levure était arrêtée en même temps. Voici comment nous avons procédé pour cette étude préliminaire :

Afin d'enrichir préalablement une suspension de farine en sucre fermentescible permettant à la levure de se mettre efficacement à l'œuvre, nous avons abandonné préalablement une suspension de farine à l'autolyse à 27° C pendant 3 heures. Pour réaliser une bonne concentration en sucre, la suspension n'a été faite qu'avec 50 cm^3 d'eau pour 20 gr. de farine. Au bout de 3 heures nous avons ajouté à la suspension 0,40 gr. (2 %) de levure fraîche délayée dans quelques cm^3 d'eau. Après avoir bien agité le tout, nous avons laissé reposer la suspension pour permettre à la partie solide de se déposer. Au bout d'une demi-heure on voit nettement s'échapper des bulles de gaz que l'on peut bien suivre au moment de traverser le liquide qui surnage au-dessus du dépôt de la farine. Chaque bulle de gaz, en s'échappant, forme un petit cratère et soulève la farine à la surface du dépôt en contact avec la phase liquide surnageante. Ainsi est-il possible de suivre la fermentation, la moindre bulle de gaz étant visible. Au bout de 1 heure de fermentation environ nous ajoutons 10 cm^3 de H^2SO^4 n/5 nécessaire pour arrêter l'action diastasique en

ramenant ainsi la réaction de pH 6 à 3 environ. Nous voulions donc voir si à pH 3 il y a arrêt simultané de la saccharification et de la fermentation. Le dégagement d'acide carbonique s'était presque arrêté complètement après l'adjonction des 10 cm³ d'acide, mais nous voyions néanmoins encore par ci par là quelques rares petites bulles s'échapper du dépôt, et cela encore pendant 3 nouvelles heures où nous observions le phénomène. D'après cette première observation nous admettions que si l'action de l'acide avait presque complètement arrêté la fermentation la quantité ajoutée et suffisante pour arrêter l'action diastasique était insuffisante par contre pour arrêter complètement l'action de la levure. Pour terminer ce premier essai, nous avons passé le tout à la centrifugation et mesuré le pH de l'extrait. Celui-ci était de 3,20 à 3,25 environ, et nous croyons que la levure, s'assoçiant aux autres composés de la farine, a pu contribuer à tamponner davantage l'action de l'acide en éloignant le pH de 3 vers 3,25. Le pH 3,25 semble être insuffisant pour détruire complètement l'action fermentative de la levure.

Dans un deuxième essai conduit différemment, nous avons voulu nous rendre compte de l'arrêt incomplet de la fermentation avec la dose de 10 cm³ d'acide n/5. Nous voulions voir si une pâte de consistance un peu plus claire que d'habitude, ensemencée de la même quantité de levure et contenant les 10 cm³ d'acide, manifestait encore des signes extérieurs indice de la fermentation. Voici comment nous avons préparé cet essai :

Comme nous devions pour le pétrissage ajouter à la farine l'acide dès le début, le milieu allait manquer de sucre diastasique nécessaire à la fermentation. Nous avons donc ajouté aux 20 gr. de farine servant à cet essai 1 gr. de maltose pur. Pour protéger la levure de l'action de l'acide pur au moment de la préparation de la pâte, nous avons placé les 0,40 gr. de levure fraîche dans le fond de notre verre à centrifuger ; dans le but de mélanger la levure intimement à la farine au moment du pétrissage, nous la délayions d'abord dans ce verre dans 4 à 5 gouttes d'eau. On lui superpose alors la farine que

l'on tasse par secousses puis enfin sont superposés à la couche de farine, 18 cm³ de liquide dont 10 cm³ d'acide sulfurique n/5. Ainsi tant que le tout n'est pas encore mélangé la levure, qui se trouve dans le fond, est protégée de la réaction de l'acide pur. Au moment où l'on mélange le tout pour faire la pâte, les principes de la farine agissent sur la réaction initiale de l'acide pur en ramenant la réaction de l'ensemble finalement vers pH 3. Nous nous sommes arrangés de façon à réaliser une température de 27 à 30° C favorable à la fermentation panaire. Dans les conditions ordinaires et avec 2 % de levure on observe au bout de 15 à 20 minutes déjà des alvéoles de gaz dans la pâte. Le moindre dégagement est très visible à travers les parois du verre, puisque les pâtes, en s'appuyant, épousent exactement la forme du récipient. Au cours d'une fermentation ordinaire on peut ainsi suivre la formation alvéolaire des pâtes qui ,en se remplissant de gaz, deviennent de plus en plus spongieuses. Dans notre pâte acide nous n'avons pu constater aucune formation de bulle au bout de 2 heures, ce qui n'indique pas encore la suppression absolue de la fermentation, puisque une certaine quantité d'acide carbonique dégagé est d'abord dissoute dans la pâte et ce n'est qu'à partir du point de sursaturation que commencent à se produire les alvéoles. Au bout de 2 heures ½ quelques bulles tout à fait minuscules apparurent dans notre pâte acide qui n'augmentaient que très légèrement à la suite, et au bout de 7 heures de fermentation on n'avait pu constater aucune augmentation sensible du volume de la pâte ,sa surface étant restée plate et affaissée comme les pâtes qui ne lèvent pas. Il nous a semblé quand même comme pour l'essai précédent que les 10 cm³ d'acide n'avaient pas suffi pour supprimer complètement la fermentation. Nous avons remis la pâte en suspension avec de l'eau distillée et avons mesuré le pH de l'extrait après centrifugation ; celui-ci était de 3,20.

Estimant qu'à pH 3 la fermentation ne pouvait être arrêtée tout à fait, nous avons recommencé le même essai avec 20 cm³ d'acide sulfurique n/5, les autres conditions restant absolument les mêmes. Dans l'essai sur suspension nous

ne pouvions voir ainsi aucun échappement gazeux au bout de 6 heures après l'addition du réactif acide ; dans l'essai sur pâte pas la moindre apparition de bulles au bout de 8 heures, la pâte d'ailleurs était flasque et humide, avec apparence et odeur de lait caillé. Nous avons préparé ainsi plusieurs pâtes pour mesurer la nouvelle valeur du pH. Les extraits provenant de la remise en suspension des pâtes composées de 23 gr. de farine humide avec 0,40 gr. de levure et 20 cm³ d'acide sulfurique n/5 accusaient des pH compris entre 2,70 et 2,80. En consultant alors notre courbe de saccharification diastasique en fonction du pH, on voit qu'il n'y a pas d'inconvénient à ramener le pH à 2,75 au lieu de 3 comme d'habitude et il nous est donné ainsi d'arrêter à la fois et la saccharification et la fermentation.

Pour être tout à fait certain que l'emploi de pH 2,7 réalisé par 20 cm³ d'acide nous garantit absolument l'arrêt de la saccharification, nous avons tenu à procéder encore à quelques essais de contrôle. Dans ce but nous avons ajouté 20 cm³ d'acide n/5 à une suspension de farine maintenue préalablement pendant 1 heure exactement à 27° C. On maintient pendant 3 heures l'acide en contact puis on procède au dosage du sucre. Les résultats sont comparés è ceux obtenus sur les mêmes farines dans des conditions identiques, mais où la saccharification avait été arrêtée comme d'habitude, c'est-à-dire avec 10 cm³ d'acide seulement.

Voici les résultats obtenus avec 3 farines différentes :

	arrêt avec 10 cm³	arrêt avec 20 cm³
Farine N° 1.....	1,598 gr.	1,597 gr.
Farine N° 2.....	1,33 gr.	1,333 gr.
Farine N° 3.....	1,45 gr.	1,445 gr.

Ces essais prouvent qu'on peut arrêter la saccharification avec la même sécurité à pH 2,7 qu'à pH 3. Ce nouveau point acquis, nous pouvons procéder maintenant aux mesures directes du sucre avant et après fermentation. Si nous voulons

interrompre l'opération à n'importe quel moment, il suffira d'ajouter à nos suspensions 520 cm³ d'acide sulfurique n/5. Avant dosage on procède à la défécation comme d'habitude en ajoutant une solution de baryte en quantité équivalente à l'acide mis en jeu.

Nous croyons avoir examiné maintenant toutes les conditions nécessaires à l'étude des besoins de la levure en sucre fermentescible pour pouvoir attaquer de front le problème.

Nous choisissons une farine saine, de taux d'extraction normal et bien équilibrée, c'est-à-dire ayant subi un repos d'une quinzaine de jours. Le problème paraît simple : nous commencerons d'abord à établir sa courbe de saccharification dans les conditions habituelles. Pour plus de facilité nous préférons opérer sur une suspension et non sur une pâte, mais les résultats que nous allons obtenir ainsi ne sont que relatifs, la saccharification étant fonction de la concentration en catalyseurs (voir ce chapitre page 34). Nous avons eu l'occasion, en effet, de démontrer les difficultés qu'on rencontre si l'on veut faire des mesures exactes sur les pâtes. Dans ces conditions notre étude sur les besoins de la levure est entachée d'une imperfection dès le commencement; mais pour l'instant nous allons nous en tenir là, ce premier essai devant nous montrer si nous pouvons sans autre heurt nous engager dans cette voie.

Dans une première série d'essais nous déterminons d'abord la courbe du sucre diastasique. Dans la deuxième série nous travaillerons exactement dans les mêmes conditons, la suspension contenant en plus la levure qui fera disparaître une certaine quantité de sucre par fermentation. La quantité de levure correspond à celle généralement employée en boulangerie pour le travail direct, soit 1 % sur la farine. Comme nous travaillons avec 20 gr. de farine sustance sèche, celà correspond à 0,2 gr. de levure en chiffre rond. Il est bien entendu que la même série d'essais est faite toujours avec la même levure provenant du même pain, pour écarter ainsi des différences pouvant provenir de ce côté. Nous avons en outre remis cette vaste étude à la période fraiche de l'année pour protéger la levure contre les

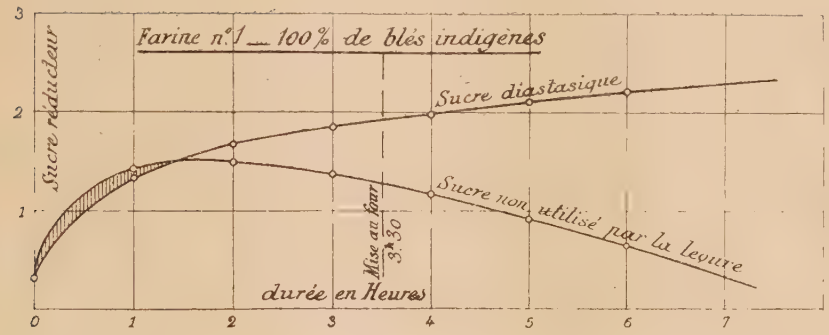
avaries dûes aux fortes chaleurs. Le pain de levure est conservé à la température de 3 à 5° C pendant toute la période d'essais de même nature qui n'a jamais duré plus de 5 jours. Pour éviter des erreurs de poids sec par dessication, chaque prise de levure est faite en éliminant préalablement une tranche de 3 cm environ d'épaisseur. Nous avons choisi naturellement la levure spéciale pour boulangerie (marque Fala). Voici encore quelques détails de manipulation pour la mise en suspension parfaite des essais avec levure : Les opérations se font toujours dans le verre à centrifugeur muni d'un thermomètre-agitateur, l'ensemble étant taré préalablement. La levure, pesée exactement, est placée quantitativement dans le verre. Comme elle est en un ou plusieurs morceaux, il y a lieu de la délayer d'abord. Il suffit d'ajouter 2 ou 3 gouttes d'eau pour la réduire avec le thermomètre en bouillie homogène que l'on étendra sur tout le fond du vase. On lui superpose alors la farine que l'on tassera par secousses en couche régulière. La bouillie de levure est immédiatement bue par la couche du bas de la farine. Le peu d'eau ayant servi à délayer la levure n'est cependant pas susceptible de provoquer un commencement de saccharification pratiquement mesurable. On superpose enfin à la farine l'eau necessaire à la mise en suspension de l'ensemble On prend l'heure au moment de mélanger le tout et l'on arrive ainsi à préparer une suspension aussi homogène que possible. Les essais avec levure sont maintenus à la même température et les réactions sont arrêtées en ramenant le pH à 2,70 par adjonction de 20 cm3 d'acide n/5. Au bout de 1/4 d'heure de contact avec l'acide, on défèque à la baryte, rectification du volume par pesée en tenant compte du poids de $BaSO^4$ (0,467 gr. de $BaSO^4$ pour les 20 cm^3 d'acide n/5), puis dosage du sucre après centrifugation.

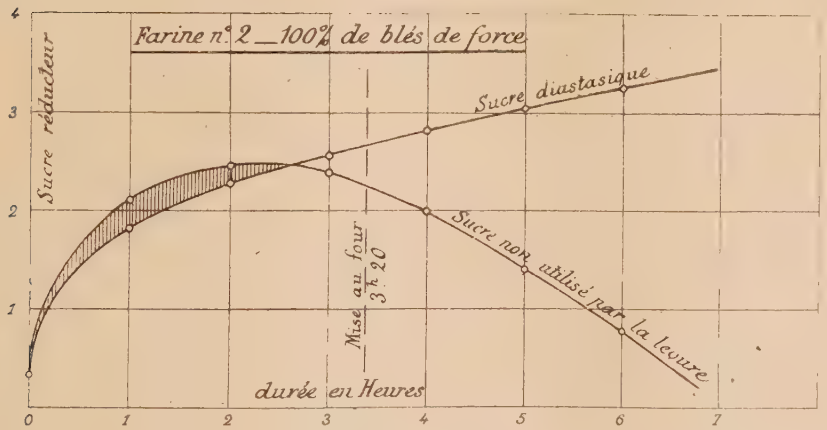
Voici les premiers résultats que nous avons ainsi obtenus:

	préexist.	¼ d'h.	1 h.	2 h.	6 h.
a) Sucre diastasique.	0,27	0,74	1,07	1,25	1,82
b) Sucre restant après fermentation. ...	»	0,76	1,27	1,40	0,96

Evaluation de la quantité de sucre disparaissant au cours de la fermentation panaire

Essais sur des suspensions de farine,
voir tableau de la page 136.





Ces premiers résultats ne sont certes pas très encourageants. En effet, en comparant le sucre au bout de 1 heure déjà, où les pâtes marquent généralement des signes très visibles de fermentation, nous trouvons davantage de sucre après la fermentation qu'avant. Il ne peut s'agir d'erreurs de mani-

pulation ou de dosage dont nous garantissons l'exactitude. Nous constatons d'ailleurs cette même anomalie au bout de 2 heures, où les pâtes sont sans exception en pleine fermentation Ce n'est qu'au bout de 6 heures de fermentation que l'on peut vraiment constater une consommation de sucre de l'ordre de 50 %. Sans nous poser le pourquoi de cette anomalie apparente, nous assisterions par conséquent à une formation de sucre dans les premières heures au moins de la fermentation panaire. Cet accroissement serait assez considérable pour masquer la quantité qui disparait, car il y a obligatoirement disparition du moment que la pâte fermente. S'il en est ainsi il sera impossible d'évaluer les pertes de sucre par la présente méthode, puisque nous ne voyons pas de moyen pratique pour étudier séparément d'une part les facultés créatrices et d'autre part les facultés fermentatives de la levure, les premières venant s'ajouter à l'action saccharifiante des diastases de la farine.

D'après K. Mohs dans sa Mehlchemie (2), (20), et d'après Schmorl (21) la levure possèderait une diastase saccharifiante, ce qui expliquerait alors l'accroissement de sucre que nous venons de constater pendant les premières heures de la fermentation. Contrairement à l'avis de ces deux chercheurs, on a toujours considéré la levure comme étant incapable de saccharifier l'amidon faute de ferments appropriés, et c'est sur ce fait, peut-être suranné, que nous avons basé notre présente expérimentation. Nous pouvons difficilement admettre l'assertion desdits chercheurs pour diverses raisons, et ignorant aussi les travaux à la suite desquels ils ont pu mettre en évidence les propriétés saccharifiantes de la levure de boulangerie. Le problème est néanmoins posé et nous devons le résoudre et étudier préalablement d'autres facteurs encore qui pouvaient contribuer à nos premiers résultats aussi disparates.

Nous avons déjà formulé quelques observations au sujet de la suspension, milieu de travail que nous avons choisi pour des raisons de facilité. En effet, si la saccharification diastasique est fonction de la concentration en catalyseur, on peut prévoir qu'il en est de même pour le travail fermentatif de

la levure. Si nous comparons la concentration du sucre diastasique — et en admettant encore que cette saccharification ne dépende pas de la concentration — dans une pâte de consistance normale, soit de 65 % d'eau, à celle de nos suspensions, on verra que la concentration ordinaire se trouve diluée 5 fois. En pâte la concentration en sucre n'est par conséquent pas seulement 5 fois plus forte mais davantage encore, la saccharification étant plus intense également en milieu pâteux. Il est donc certain que la levure travaillera d'une façon plus intense en milieu pâteux qu'en milieu aussi dilué qu'est la suspension. Cette mise au point, bien entendu, n'explique pas la raison pour laquelle il y a enrichissement en sucre dans les premières heures de la fermentation. Mais la simple observation de la suspension nous a démontré que la fermentation manquait d'intensité. Il y a donc lieu de faire nos mesures sur pâtes.

Avant de poursuivre notre étude même, nous devons donc examiner certains facteurs qui peuvent être la cause de l'accroissement du sucre au début de la fermentation. Nous examinerons préalablement les 3 points suivants :

1) Etude de la levure au point de vue teneur en sucre ou matières amylacées.

2) Etude de la levure au point de vue teneur en ferments saccharifiants.

3) Etude d'un mode pratique de mesure sur pâte en remplacement de la suspension de farine.

En cherchant à approfondir la question, à connaître les raisons pour lesquelles la quantité de sucre augmente au début de la fermentation, nous avons d'abord pensé que la levure pouvait, par sa composition, nous faire un certain apport en sucre ou autres matières amylacées, soit qu'elle les contienne comme impuretés provenant des moûts fermentés plus ou moins complètement, soit qu'elle en contienne sous forme de réserve glycogénique. Notons déjà que même dans le cas le plus défavorable l'apport fait par la levure ne pourrait à lui

seul justifier cet accroissement. En effet, nous avons ajouté pour nos essais une quantité de levure humide de 0,20 gr. Or cette quantité représente en chiffre rond 0,05 gr. de substance sèche, plusieurs dosages sur divers pains de levure nous ont accusé une teneur de 73 à 76 % d'humidité. Il faudrait par conséquent déjà admettre que la totalité de la levure, évaluée en substance sèche, soit constituée uniquement par du sucre si l'on voulait voir dans les souillures de levure la seule cause de l'enrichissement en sucre de nos extraits après fermentation. Faisons les calculs pour mettre les choses au point : Nous nous servons pour nos essais de 20 gr. de farine substance sèche ; à cette quantité nous avons ajouté 0,20 gr. de levure humide = 0,05 gr. de substance sèche. Comme nous rapportons les résultats à 100 gr. de farine, la quantité de levure substance sèche représente $0,05 \times 5 = 0,25$ gr. Par conséquent l'enrichissement de la suspension en sucre réducteur au cours de la fermentation ne peut provenir exclusivement de substances sucrées contenues dans la levure.

Nous avons d'ailleurs soumis plusieurs pains de levure aux essais suivants. Pour nous rendre compte de la teneur en substances réduisant le Fehling, nous avons préparé des suspensions de levure de 10 gr. dans 100 cm^3 d'eau à 20° C pendant 15 minutes. Après centrifugation nous avons soumis les extraits à l'essai des sucres directement réducteurs et qui fut toujours négatif. D'autre part nous avons saccharifié préalablement ces extraits avec de l'acide au bain-marie pour invertir ou saccharifier le saccharose ou des substances amylacées dans le cas où il y en aurait. Là aussi les réactions restaient négatives prouvant que la levure qui nous sert est tout à fait exempte d'impuretées sucrées ou amylacées. Notons aussi que la levure peut contenir suivant les conditions du travail ou du milieu une proportion plus ou moins forte en glycogène, réserve amylacée, qui n'intervient cependant que dans les réactions strictement intracellulaires. Ces essais prouvent donc que l'augmentation de la quantité de sucre réducteur dans les suspensions en fermentation ne pouvait provenir de matières sucrées ou amylacées contenues comme impureté dans la levure.

Nous allons maintenant examiner la question à savoir si la levure peut, par ses propres moyens, créer du sucre réducteur aux dépens de substances amylacées, cause possible de l'accroissement du sucre dans nos suspensions en fermentation. Cette étude devra nous démontrer si la levure possède effectivement la diastase saccharifiante comme le prétendent Mohs et Schmorl.

Dans ce but nous avons fait agir d'abord de la levure sur une suspension d'amidon en globules pendant une durée de 6 heures à 30° C. Cet amidon avait été préparé préalablement dans les conditions déjà citées et était tout à fait exempt de produits azotés et de substances douées de propriétés diastasiques plus particulièrement. Comme les opérations de la préparation de l'amidon pur enlèvent la plupart des sels minéraux de la farine, nous les avons remplacés en faisant notre suspension d'amidon et de levure avec le liquide de Raulin, dans lequel nous avions supprimé l'acide tartrique, le carbonate de Mg et de K, le silicate de sodium et le saccharose bien entendu. Pour donner au milieu la réaction habituelle, nous avons acidifié à l'acide tartrique jusqu'à obtention de pH 6. La composition de la suspension était la suivante : 10 gr. d'amidon pur de blé à l'état globulaire, 1 gr. de levure et 50 cm³ de liqueur. Après avoir agité pour bien homogénéiser, nous avons laissé le tout se déposer pour mieux observer ce qui se passe dans la phase solide du bas et dans la liqueur surnageante devenue finalement tout à fait claire. Dans un premier essai nous n'avons pu constater de signe visible indiquant un commencement de fermentation, pas le moindre échappement de bulles à la zone de contact entre la phase solide et liquide. Au bout de 6 heures de contact, après remise en suspension et centrifugation, nous avons fait un essai au Fehling qui était négatif. Dans un autre essai identique, nous avons procédé à l'essai au sucre au bout de 1 heure de macération déjà, la réaction était toujours négative. D'après cette première série d'expériences la levure ne peut saccharifier de l'amidon globulaire.

S'il en est ainsi pour l'amidon cru, nous avons pensé que

la levure pouvait peut-être saccharifier des éléments amylacés solubles éliminés au cours de la purification de l'amidon globulaire. Dans ce but nous avons préparé un empois d'amidon de 1,5 % environ auquel nous avons ajouté la même proportion de levure que pour nos essais précédents. Dans un essai préalable nous avons contrôlé l'absence dans cet empois de sucre réducteur. L'empois contenant la levure a été maintenu à 30° C. Dans cet essai, comme dans les précédents, nous n'avons pu constater le moindre dégagement gazeux. Au bout de 4 heures nous avons procédé à la centrifugation et soumis quelques cm^3 à l'essai au Fehling qui nous démontrait encore l'absence totale de sucre réducteur.

Nous croyons que pour notre étude les essais que nous venons de faire sont assez concluants, à savoir que la levure n'a pu augmenter la proportion de sucre dans nos suspensions ni par un apport direct en sucre contenu comme impuretés, ni par action diastasique en saccharifiant l'amidon de la farine. D'après ces essais la levure ne possède donc pas de diastases saccharifiantes.

Nous allons être maintenant en mesure de reprendre nos essais de fermentation pour l'évaluation des besoins de la levure en sucre fermentescible. Nous avons vu déjà les raisons pour lesquelles nous devons abandonner les mesures sur suspension en faveur des essais sur pâte. La suspension, avions-nous dit, représente un milieu trop dilué, par conséquent trop pauvre en sucre, dans lequel l'intensité de la fermentation doit être essentiellement différente par rapport à la fermentation dans la pâte de consistance habituelle. Malgré les difficultés que nous avons rencontrées jusqu'ici nous devons néanmoins nous diriger dans cette voie et rechercher d'abord les conditions de travail les plus satisfaisantes à tout point de vue. Nous avons d'abord pensé travailler plus avantageusement sur un grand volume de pâte, au sein duquel on prélèverait pour le dosage une certaine quantité, sachant par calcul qu'un certain poids de pâte représente une certaine quantité de substance sèche. Cependant, il n'y a pas de pâtes parfaitement

homogènes ; en outre la pâte est une substance peu maniable se prêtant mal aux évaluations quantitatives. Ainsi nous tendions encore vers un mode opératoire plus simple pouvant réunir l'ensemble des manipulations jusqu'au moment du dosage dans le même récipient.

Nous avons donc essayé de travailler exactement dans les conditions habituelles : même récipient, même quantité de farine. Contrairement à la suspension classique nous allons préparer une pâte de consistance sensiblement égale à celle réalisée en boulangerie. Nous essayerons donc de faire nos mesures sur une micro-pâte préparée avec 20 gr. de farine substance sèche et 15 cm^3 d'eau (= 65 %). Un des principaux obstacles que nous avions rencontrés jadis en voulant faire des essais sur pâte directement résidait dans la difficulté de remettre en suspension homogène la pâte, opération nécessaire pour la séparation des principes solubles de la partie solide de la farine. En effet, une fois le réseau glutineux formé dans une pâte de consistance habituelle, il devient presque impossible de la détruire, la cohésion des particules de gluten devient telle qu'en essayant de refaire une suspension par trituration, il y a simple séparation du gluten de l'amidon. Le gluten étant une substance douée de propriétés adsorptives très prononcées et retenant près de 6 fois plus d'eau que l'amidon, le dosage exact des principes solubles n'est plus possible de la façon dont nous procédons habituellement. Cette difficulté n'est pas tout à fait la même pour toutes les farines. La stabilité du réseau dépend de la quantité et surtout de la qualité du gluten. Ainsi les farines provenant de nos blés indigènes plutôt humides donnant généralement des pâtes molles, se prêtent encore assez facilement à la remise en suspension ; par contre les pâtes de certains blés étrangers, des Manitoba surtout, s'opposent énergiquement à leur destruction. D'une façon générale l'opération de la remise en suspension devient d'autant plus difficile que la pâte vieillit, la liaison entre particules devenant de plus en plus intime avec le temps et à la suite de réactions d'ordre physico-chimique qui se produisent sans doute au sein de la pâte. Ainsi une pâte de farine

de Manitoba peut être remise en suspension aussitôt après le pétrissage et aussi encore au bout de 30 minutes de repos, mais après 1 heure déjà l'opération ne peut plus être faite de façon satisfaisante. Nous avons d'ailleurs fait d'intéressantes observations à ce sujet sur lesquelles nous aurons l'occasion de revenir plus tard. Nous avons donc cherché à détourner cette difficulté en examinont les conditions les plus favorables permettant la remise en suspension des pâtes. Dans ce but nous avons fait des recherches avec une farine constituée moitié de blés indigènes moitié de blés de force. Nous avons préparé des pâtes de diverses consistances depuis la pâte normale de 65 % jusqu'à 150 %. Nous avons laissé reposer chaque pâte pendant 5 heures avant de procéder à la remise en suspension. Ainsi avons-nous trouvé qu'une pâte de 90 % d'eau environ pouvait être brisée convenablement sans risquer de séparer le gluten sous forme de gros caillot du restant de la farine. Ces pâtes sont constituées d'environ 23 gr. de farine humide et de 20 cm^3 d'eau ; elles sont naturellement un peu claires et la liaison du réseau glutineux est par conséquent moins intime. Pour aboutir à une suspension homogène il faut acquérir une certaine habitude et quelques tours de main.

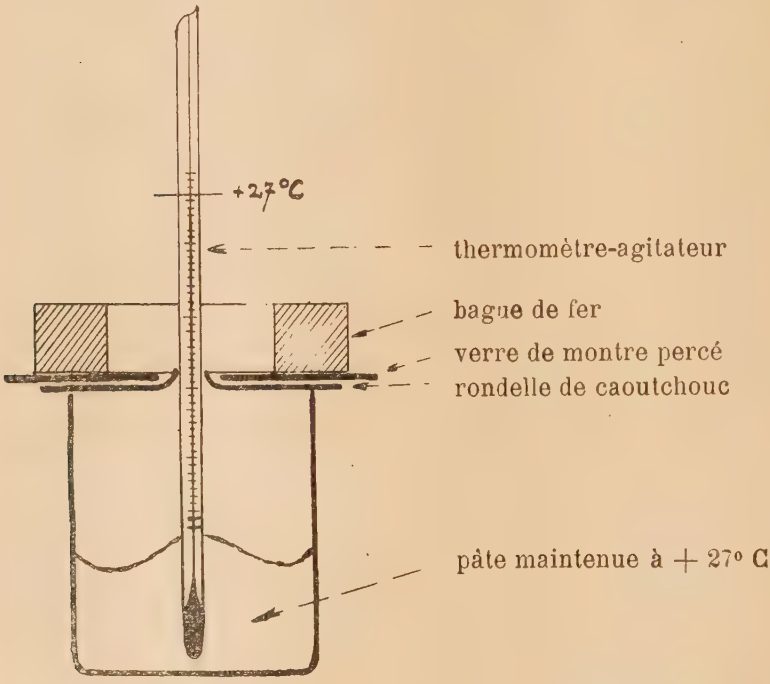
Nous avons déjà montré que la saccharification diastasique est également fonction de la concentration en catalyseur, autrement dit la formation de sucre est plus intense dans une pâte normale que dans une suspension. D'après notre étude (voir page 34) nous voyons que l'écart des résultats est peu considérable si l'on opère avec une pâte de 90 % d'eau au lieu de 65 normalement. Ainsi, en faisant nos essais sur pâte de 90 %, nous trouverons-nous, au seul point de vue fermentatif à très peu de choses près, dans les conditions habituelles de la panification.

Voici maintenant encore une raison pour laquelle nous avions jugé plus exact de faire nos mesures sur la suspension. Le thermomètre doit rester dans le milieu à étudier pendant toute la durée de la digestion, le maintien exact d'une température constante étant indispensable. Le récipient devant par

conséquent rester ouvert, la couche du dessus de la pâte ainsi que toutes les portions de pâte, qui se collent inévitablement au moment de sa préparation après les parois du verre au-dessus du niveau de la masse, dessèchent petit à petit et forment croute. Dans la masse de pâte cette dessication donne lieu à des changements de concentration au détriment de son homogénéité. Quant aux fractions de pâte qui adhèrent après les parois du verre, celles-ci dessèchent complètement et ne participent donc plus du tout aux réactions. Nous avons réussi à détourner aussi cette dernière difficulté de façon satisfaisante. Voici comment nous faisons : aussitôt la pâte préparée, nous couvrons le verre avec une feuille de caoutchouc ronde (morceau de chambre à air) de diamètre légèrement supérieur à celui du verre. Cette feuille porte dans son milieu un trou de $4^{m}/_{m}$ de diamètre pour le passage du thermomètre-agitateur. Celui-ci étant de diamètre supérieur, il se trouve forcé légèrement dans le trou qui est ainsi suffisamment obturé. Sur la feuille est appliqué ensuite un verre de montre percé au milieu. Pour appliquer les deux de façon hermétique contre le verre, on place enfin, pour faire poids, sur le verre de montre une bague de fer de diamètre égal à celui du récipient. Le croquis ci-dessous donne l'assemblage complet de cette installation de fortune. Ainsi notre pâte se trouve dans une espèce de chambre humide et on peut la triturer avec le thermomètre-agitateur depuis le dehors, c'est-à-dire sans enlever le double couvercle, la feuille de caoutchouc permettant de manier l'agitateur dans tous les sens tout en restant bien appliqué contre le caoutchouc. De cette façon nous avons pu éviter tout à fait le croutage de la pâte ainsi que la dessication des fractions collées après les parois ; par ce moyen la totalité de la masse de farine participe aux réactions. Nous avons contrôlé plusieurs essais de même nature qui nous ont donné des résultats absolument comparables.

Pour nous tenir le plus strictement possible dans les conditions normales de la panification, nous allons tenir compte aussi du sel marin employé en dose comprise entre 1 à 4 % très généralement. Si l'emploi du sel a pour but principal de

rendre le pain plus savoureux, à la consommation, il n'est pas moins vrai qu'il exerce une action très sensible sur les qualités plastiques de la pâte d'une part et d'autre part sur



les phénomènes enzymatiques au cours de la fermentation. Ces propriétés du sel sont aujourd'hui encore assez bien connues des vieux boulangers surtout, exclusivement habitués au travail de pétrissage à bras. Ainsi savent-ils que l'emploi d'une proportion plus ou moins forte en sel n'est pas chose indifférente, et le vieux boulanger que nous avons eu en service jusqu'il y a quelques années savait se servir de façon tout à fait parfaite du sel. Ainsi salait-il davantage des pâtes à faible gluten, faisant gagner de la sorte à la pâte un peu plus de cohésion tout en corrigeant l'effet ralentisseur du sel sur la fermentation en forçant un peu en levure. Ce sont de ces petits tours de mains de vieux professionnels qui permettaient alors d'obtenir du pain de bon aspect malgré la médiocrité

de la farine. Ces petits détails qui ont leur importance se perdent petit à petit avec la diffusion du pétrin mécanique, le boulanger n'étant plus en contact aussi direct avec la pâte. C'est pour cette raison d'ailleurs que la meunerie est de plus en plus obligée d'orienter sa fabrication vers les farines de grande qualité, qui doivent « marcher » pour ainsi dire toutes seules. Le boulanger de nos jours est d'ailleurs devenu très catégorique dans l'appréciation de la qualité de la farine, qu'il considère comme mauvaise tout court dès qu'il constate la moindre variation ; il ignore le fignolage qui jadis faisait son art.

Revenons après ces quelques propos, cependant utiles, à la préparation de nos pâtes de laboratoire. Nous croyons nous trouver dans la bonne moyenne en employant le NaCl en raison de 2 %. Pour plus d'exactitude nous l'ajouterons à la farine sous forme dissoute dans l'eau de pétrissage. Comme nous employons pour nos essais environ 23 gr. de farine humide (= 20 gr. de farine sèche), exigeant 0,46 gr. de sel, nous préparons préalablement une solution de NaCl pur contenant 23 gr. au litre ; les 20 cm^3 de liqueur qui nous servent à préparer les pâtes (de 95 % d'eau) contiennent donc 0,46 gr. de NaCl.

Nous opérons toujours dans notre verre à centrifugeur classique muni de son thermomètre-agitateur, l'ensemble étant taré préalablement. Pour la préparation de la pâte on place d'abord la farine dans le verre puis on lui superpose les 20 cm^3 d'eau salée. L'eau salée est portée préalablement à une température permettant de réaliser selon les conditions extérieures la température classique de 27° C au sein de la pâte. Pour plus d'exactitude nous mesurons l'eau de pétrissage dans une burette. On mélange alors l'eau à la farine en malaxant et triturant la pâte avec le thermomètre jusqu'à obtention d'une parfaite homogénéité. Le verre est alors bouché de la façon indiquée et la température maintenue constante à 27°.

La préparation des pâtes avec levure est faite ainsi. Afin de répartir uniformément la levure dans la pâte, nous la

délayons préalablement dans l'eau de pétrissage. Cette façon de faire n'a aucun inconvénient sur la levure qui n'est sensible qu'à l'action des solutions salines assez concentrées. Ainsi le boulanger évite-t-il de verser la levure sur le sel directement qu'il ajoute toujours sous forme solide à la farine.

La farine est d'abord placée dans le verre. On pèse dans une capsule de porcelaine de 35 à 40 cm^3 de capacité, munie d'un bec, la quantité de levure. La solution saline est placée dans la burette. On n'en verse d'abord que 2 à 3 gouttes sur la levure que l'on délaye convenablement avec le thermomètre puis on la dilue avec une dizaine de cm^3 en versant quantitativement cette première portion avec précaution sur la farine. On ajoute alors le restant de liqueur jusqu'à concurrence de 20 cm^3 exactement à la capsule pour entraîner pratiquement toute la levure dans la farine. On pétrit et l'on soumet la pâte à la fermentation à 27° en vase couvert. Si le couvercle en feuille de caoutchouc est bien fait, il cède à la pression gazeuse qui se forme, faisant ainsi office de soupape. La réaction est arrêtée en ajoutant 20 cm^3 d'acide n/5 portion par portion puis de l'eau en remettant par malaxage la pâte en suspension. Après un contact d'une vingtaine de minutes avec l'acide, on défèque à la baryte, on ramène la température à 20° puis on rectifie le volume à 100 cm^3 par pesée en tenant compte de la quantité de NaCl et de $BaSO^4$ de défécation.

Nous voici donc à même de reprendre nos mesures.

Nous choisissons deux farines très différentes, l'une constituée exclusivement de blés indigènes (farine N° 1), l'autre de 100 % de blés de force (exotiques) farine N° 2.

Dans une première série d'essais nous établirons la courbe de saccharification diastasique ; les essais étant faits maintenant sur des pâtes, ces valeurs ne peuvent plus être comparées à celles obtenues sur les suspensions.

Pour réaliser le volume exact de 100 cm^3, le poids total de la suspension sera amené à 120 gr. 90 ; voici d'ailleurs la répartition :

99,74 gr. = poids de 100 cm^3 d'eau à 20° C.
20, » = farine substance sèche.
0,46 » = NaCl en raison de 2 % sur la farine.
0,05 » = poids de la levure substance sèche.
0,47 » = $BaSO^4$ dans 20 cm^3 de liqueur n/5.
0,15 » = pertes par centrifugation.

120,87 gr. = Total.

Dans le tableau ci-dessous sont portées les valeurs du sucre réducteur obtenues avant et après fermentation :

Farine N° 1 — 100 % de blés indigènes :

Durée en heures.....	1 h.	2 h.	3 h.	4 h.	5 h.	6 h.
Sucre réducteur avant fermentation	1,37	1,72	1,88	1,96	2,13	2,25
Sucre réduct. restant après fermentation	1,43	1,50	1,40	1,18	0,92	0,67

Farine N° 2 — 100 % de blés exotiques de force :

Durée en heures.....	1 h.	2 h.	3 h.	4 h.	5 h.	6 h.
Sucre réducteur avant fermentation.	1,83	2,26	2,55	2,81	3,05	3,27
Sucre réduct. restant après fermentation	2,11	2,17	2,37	1,97	1,42	0,78

En examinant les valeurs avant et après fermentation des deux farines, nous retrouvons encore le même phénomène tout en opérant maintenant sur des pâtes : dans les 2 premières heures la pâte en fermentation est plus riche en sucre réducteur que la pâte sans levure.

Nous avons soumis les pâtes en fermentation à une observation très attentive. Nos pâtes fermentaient normalement et levaient considérablement, ce qui nous obligeait au bout de

4, 5 et 6 heures à les malaxer à plusieurs reprises pour faire évacuer les gaz de fermentation. Nous avons procédé avec les deux farines à des essais de panification en travaillant le plus possible dans les conditions de nos essais ci-dessus sauf pour la consistance des pâtes qui devait être ramenée à 70 % pour la facilité des manipulations. Nous avons seulement demandé à notre boulanger de nous fixer l'heure à laquelle les pâtes seraient prêtes à l'enfournement. Ce laps de temps doit nous indiquer la durée limite de la fermentation qui, portée sur nos graphiques, devait nous indiquer approximativement la quantité de sucre disparue résultant de la différence entre la quantité de sucre disponible formée par action diastasique et celle non utilisée par la levure. Ainsi nos deux pâtes ont été enfournées l'une au bout de 3 h. 30, l'autre au bout de 3 h. 20 minutes de fermentation. Le pain était beau dans les deux cas, volumineux et la mie de belle texture.

Etant donné les résultats obtenus, il serait absurde de vouloir évaluer ainsi les pertes en sucre. En effet, au bout de 30 minutes après pétrissage nos pâtes marquaient régulièrement des signes visibles de fermentation et se trouvaient en pleine activité au bout de 1 h. ½. Or, pour qu'il y ait fermentation, il y a obligatoirement dépense, c'est-à-dire disparition de sucre. Comme les courbes de fermentation accusent des valeurs supérieures dans les premiers stades au moins, résultant incontestablement d'une apparition de sucres due à la fermentation et pour des raisons que nous ignorons encore, les pertes effectives se trouvent masquées ainsi et toute comparaison serait absolument illusoire.

Après cette deuxième tentative le problème reste par conséquent encore entièrement posé, et nous devons chercher ailleurs les causes de l'accroissement du sucre réducteur au cours de la fermentation.

Nous avons la certitude que cet accroissement de sucre ne peut provenir ni d'impuretés contenues dans la levure ni de diastases saccharifiantes autres que celles contenues dans la farine, la levure ne possédant et ne pouvant émettre de ferments capables de saccharifier l'amidon sous n'importe

quelle forme que ce soit. L'accroissement de sucre doit cependant être attribué à l'action de la levure exclusivement.

Jusqu'ici nous avons voulu voir dans la saccharification diastasique la seule source du sucre nécessaire à la fermentation panaire, en admettant que la proportion de sucres autres que le maltose, préexistant dans les farines de taux d'extraction normal, était négligeable dans nos mesures. En voyant augmenter la proportion de sucre réducteur dans les essais avec levure et après avoir acquis la certitude que cette augmentation ne pouvait provenir ni d'impuretés ni de formation diastasique, il ne reste plus qu'une dernière supposition d'après laquelle la levure, moyennant ses enzymes, serait susceptible de transformer un sucre non directement réducteur et préexistant dans la farine en sucre réduisant directement la liqueur de Fehling. D'après notre hypothèse, la levure ne créerait donc pas ces sucres, mais elle agirait uniquement sur eux en les hydrolysant et ceux-ci interviendraient alors sous leur nouvelle forme dans nos dosages.

En donnant à l'entrée de notre travail un aperçu analytique du grain de blé et des farines panifiables, nous avons vu que les farines contenaient du saccharose, représentant un reste de la matière première servant à la synthèse de la substance de réserve amylacée en période végétative. On a vu aussi que la proportion de saccharose augmente avec le taux d'extraction, ce sucre étant dans le grain plus particulièrement logé dans les parties périphériques et dans le germe ; l'amande farineuse par contre serait pauvre en saccharose. Or, les propriétés du saccharose nous semblent tout indiquées pour voir dans celui-ci la cause de l'échec de nos mesures. Le saccharose est comme le maltose un disaccharide mais ne réduit pas le Fehling, sa fonction réductrice faisant la liaison entre les deux molécules d'hexose. Le saccharose est un sucre fermentescible, la levure possédant la saccharase nécessaire à son dédoublement préalable donnant naissance au sucre interverti constitué par un mélange équimoléculaire de glucose et de lévulose. Le maltose pour fermenter est également dédoublé par la maltase de la levure en deux molécules de glucose.

La zymase de la levure enfin effectue la transformation de ces monosaccharides en CO^2 et en alcool.

Il est donc possible que dans le premier stade de la fermentation la levure agisse sur le saccharose préexistant en l'intervertissant plus ou moins. Avant de nous occuper des possibilités de dosage du saccharose nous avons voulu dans une étude spéciale nous rendre compte de l'action de la levure sur des solutions de saccharose pur.

Nous avons préparé une solution de saccharose pur, dans laquelle nous avons contrôlé d'abord l'absence complète de sucre réducteur. En ajoutant à cette solution de la levure de boulangerie et en maintenant ce mélange à 27° pendant une heure environ, on constate que la liqueur claire réduit copieusement le Fehling. Ainsi la levure procède-t-elle immédiatement à l'interversion du saccharose en émettant la saccharase. Cette interversion semble précéder entièrement l'action fermentative proprement dite de la zymase, car nous n'avions pu observer à l'intérieur de cette première heure de contact aucun signe visible de fermentation. Voici d'ailleurs un essai quantitatif qui montre l'action de la saccharase de la levure sur les solutions de saccharose :

Nous avons placé dans un verre 0,203 gr. de saccharose chimiquement pur et 0,20 gr. de levure fraîche, dose employée dans nos essais sur pâte de farine. Mise en dissolution et en suspension de cet ensemble avec 25 cm^3 d'eau ; durée de digestion une heure à 27°. Avant dosage du sucre interverti nous avons dilué à 100 cm^3 exactement et centrifugé. La quantité de sucre interverti obtenue par dosage est convertie par calcul en saccharose, sachant que 10 gr. de sucre interverti correspondent à 9,50 gr. de saccharose. Ainsi au bout de 1 heure à 27° la levure avait interverti 0,156 gr. sur les 0,203 gr. de saccharose, soit 77 %. Il est certain que la vitesse d'nterversion dépend des masses en action, ce phénomène étant fonction de la concenrtation en sucre et en catalyseur ainsi que du temps. L'essai montre que l'action de la saccharase et celle de la zymase ne sont pas simultanées mais successives, la levure procédant avant la fermentation propre-

ment dite à l'ajustement préalable de la presque totalité des matériaux disponibles. Ces essais nous montrent donc de quelle façon la levure peut modifier nos valeurs de sucres réducteurs dans les pâtes de farine en présence de saccharose; nous tenons par conséquent dès maintenant la raison pour laquelle nous trouvions des chiffres aussi disparates, façon de prouver, si l'on veut, la présence de saccharose dans les farines.

Avant vu maintenant comment se comporte le saccharose vis à vis de la levure, nous avons voulu nous rendre compte de l'action de la levure sur le maltose. Celui-ci aussi avons-nous déjà dit doit être dédoublé préalablement avant fermentation. Comme le maltose possède une fonction réductrice libre, la quantité de cuivre réduite double pratiquement en procédant à son dédoublement par l'hydrolyse acide par exemple. Si donc la maltase de la levure agit de la même façon sur une solution de maltose que le fait l'invertase sur le saccharose, le pouvoir réducteur d'une solution de maltose avant et après contact avec la levure doit varier. Ainsi avons-nous préparé dans des conditions absolument analogues une suspension de levure constituée de 0,20 gr. de levure et de 0,20 gr. de maltose chimiquement pur dans 25 cm³ d'eau. Au bout de 1 heure de contact à 27° nous n'avons plus retrouvé que 88 % du maltose mis en jeu, la différence ayant sans doute disparu par fermentation. Dans l'essai à blanc le dosage nous avait cependant donné la totalité du maltose mis en jeu. La fermentation au bout de 1 heure est peu importante ; si donc il y avait eu dédoublement préalable comme dans le cas du saccharose, l'évaluation du sucre réduit comme maltose aurait dû nous donner obligatoirement une quantité supérieure à celle mise en œuvre, les produits de dédoublement du maltose étant réducteurs en raison de 2 pour 1 molécule de maltose. Ainsi le travail de la levure dans une solution de saccharose diffère foncièrement de celui dans une solution de maltose. Il n'y a donc pas dédoublement préalable en bloc de maltose ; celui-ci disparaît au fur et à mesure, la maltase et la zymase semblant travailler simultanément. Cette étude

de l'action de la levure sur les solutions de maltose pur est pour nos essais de fermentation d'un grand intérêt. Elle nous a démontré que nos courbes de saccharification diastasique ne se trouvent modifiées en rien en ce qui concerne l'évaluation du maltose, celui-ci ne subissant, comme nous venons de le voir, aucune transformation préalable par l'action de la levure comme le saccharose.

Nous nous permettons d'ouvrir ici une parenthèse au sujet des propriétés physico-chimiques des ferments. Ainsi que nous l'avons déjà vu, les théories modernes tendent de plus en plus à réfuter toute individualité aux divers ferments, ne voulant plus voir en eux qu'une seule substance susceptible, selon la constitution physico-chimique (degré d'hydratation, taille, surface active ou autres), d'hydrolyser soit l'amidon, soit le maltose, le saccharose, etc... Nous venons de voir que l'action de la levure sur une dissolution de saccharose est essentiellement différente de celle sur une solution de maltose. Alors qu'au bout de peu de temps la dissolution de saccharose devient très réductrice, indiquant ainsi l'interversion presque complète de la totalité du saccharose mis en œuvre, on ne peut constater de dégradation préalable du maltose. L'interversion rapide de la solution de saccharose semble donc être une réaction extracellulaire, la levure émettant l'invertase. L'invertase serait donc de faible dimension pouvant diffuser à travers la membrane de la cellule de levure et intervertir ainsi en bloc la totalité du saccharose. Par contre la transformation préalable du maltose en 2 molécules de glucose ne semble pouvoir se faire que dans la cellule de la levure, nécessitant ainsi la diffusion du maltose à son intérieur. La maltase, de taille plus grande, ne pourrait diffuser à travers la membrane cellulaire. La dégradation se faisant à l'intérieur de la cellule, le glucose formé est immédiatement accaparé par la zymase le transformant en alcool et acide carbonique. Ainsi ne peut-on, comme dans le cas du saccharose, mettre en évidence la dégradation préalable du maltose par la maltase. En résumé l'interversion du saccharose par la levure semble être une réaction extracellulaire contrairement à celle du maltose qui serait intracellulaire.

Nous tenons maintenant l'explication du surcroît de sucre trouvé dans nos essais de fermentation. La farine contient du saccharose ; celui-ci étant fermentescible, nous devons donc en tenir compte dans nos essais pour l'évaluation des besoins de la levure pendant la fermentation panaire. Nous devons par conséquent doser la quantité de saccharose qui préexiste dans les farines. Nous connaissons une méthode de dosage, élaborée par Lane et Eynon (23), mais qui ne nous a pas jusqu'ici inspiré confiance.

D'après cette méthode les farines type courant contiendraient 1,5 à 2 % de saccharose, valeurs que nous avons considérées comme trop élevées si nous nous basons sur leur provenance. D'après Berliner et Rüter l'amande farineuse est très pauvre en saccharose, celui-ci serait plutôt introduit dans les farines par les impuretés périphériques et les particules de germes riches en saccharose. Cette explication ne peut à notre avis à elle seule justifier des teneurs de cet ordre, car même en admettant que ces impuretés soient uniquement constituées de saccharose, les farines n'atteindraient que difficilement ces proportions. La méthode par elle-même nous a toujours semblé douteuse dans les conditions dans lesquelles l'appliquent les auteurs. Examinons-la dans ses détails :

Lane et Eynon préparent un extrait de farine provenant d'une digestion de 30 minutes à la température de 20° C. A cet extrait ils ajoutent en raison de 2 % une solution d'acide chlorhydrique de 25 % en faisant bouillir pendant 1 minute exactement. L'acide intervertit le saccharose qui est dosé après neutralisation. Dans une autre partie de l'extrait ils dosent le sucre directement réducteur ; la différence entre les deux résultats leur donne la teneur en sucre interverti et par calcul la quantité de saccharose.

Nous avons toujours eu l'impression que la méthode appliquée dans les conditions énoncées devait fournir des résultats trop élevés. Si nous nous rapportons à notre étude de la saccharification diastasique avec le temps, nous y voyons qu'au bout de 30 minutes de digestion la courbe des sucres se trouve en pleine montée et nous avions alors émis la sup-

position que la saccharification devait se faire aux dépens des substances amylacées intermédiaires faciles à hydrolyser. Par conséquent l'action de l'acide à l'ébullition, aussi courte qu'elle soit, nous semble suffisante pour toucher aussi à ces produits. Ainsi la méthode pourrait-elle accuser une proportion de saccharose qui peut ne pas correspondre à la réalité. Nous avons fait des essais de contrôle dans ce sens pour voir si en appliquant la méthode LANE à une solution de dextrines il n'y avait pas hydrolyse d'une quantité sensible de dextrines sous l'action de l'acide à chaud d'une durée de 1 minute. Ainsi avons-nous préparé une solution de dextrines de 1 gr. dans 200 cm³ d'eau, dans laquelle nous avons dosé sur un essai préalable la proportion de substances réductrices préexistantes. Nous avons soumis alors une autre partie de la solution à l'action de l'acide à chaud dans les conditions indiquées par LANE. Voici les résultats obtenus :

a) Dosage des substances directement réductrices avant inversion.... 1,85 cm³ de $KMnO^4$

b) Dosage de l'ensemble des substances réductrices après inversion.... 2,15 cm³ de $KMnO^4$ (pour 25 cm³ de liqueur)

Le traitement par la méthode LANE pour l'inversion du saccharose a donc enrichi de 16 % la dissolution en produits réducteurs. Il est possible que cet enrichissement soit dû effectivement à l'interversion de saccharose qui a pu se trouver comme impureté dans la dextrine qui a servi aux essais. Profitant maintenant de nos constatations faite sur l'action de la levure sur les dissolutions de saccharose, nous avons fait agir de la levure sur la solution de dextrine. Si la dextrine contient du saccharose comme impureté, celui-ci doit apparaître au dosage ; subissant l'interversion par l'invertase de la levure, le pouvoir réducteur de la dissolution de dextrine doit augmenter. Dans un premier essai nous avons préparé une dissolution de 1 gr. de dextrine dans 20 cm³ d'eau que nous avons maintenu pendant 1 heure à 27°. Nous y avons dosé le sucre réducteur après avoir dilué préalablement à 50 cm³.

Dans un deuxième essai nous avons opéré dans les mêmes conditions mais en ajoutant à la dissolution 0,20 gr. de levure. Les résultats obtenus sur 25 cm³ de la liqueur diluée étaient les suivants :

a) Substances réductrices sans levure. 7,35 cm³ de $KMnO^4$
b) » » avec levure. 7,25 »

D'après ces 2 derniers essais il ne semble pas avoir eu de saccharose dans notre dextrine, la proportion de cuivre réduit ayant plutôt diminué. D'après ces essais la méthode Lane aurait tendance à fournir des résultats trop forts si l'on veut doser le saccharose en présence de dextrines. Voici d'ailleurs une autre observation, qui a sans doute son importance : nous avons vu que dans une dissolution de saccharose pur la levure en intervertit environ 75 %. Rüter et Berliner en dosant le saccharose dans les farines d'après la méthode Lane, y trouvent des proportions comprises entre 1,5 et 2 %. Si, en nous basant sur l'action intervertissante de la levure, nous comparons nos courbes de sucre avant et après fermentation (voir page 137) et que nous essayions par simple calcul d'exprimer en saccharose le surplus de cuivre réduit dans la première phase de la fermentation, nous arrivons à des valeurs infiniment plus basses que celles trouvées par la méthode Lane. Ces chiffres ne sont naturellement pas rigoureusement exacts, une certaine quantité de sucre ayant disparu par fermentation ; mais même en les doublant nous restons loin derrière les proportions indiquées par Rüter. Etudions un peu les résultats que nous avons obtenus avec la farine N° 1. Nous avons pu démontrer la raison pour laquelle la courbe des sucres en présence de la levure dépasse la courbe des sucres diastasiques, l'invertase de la levure dédoublant le saccharose préexistant dans la farine. Cependant dans nos calculs nous avons exprimé la quantité de cuivre réduite comme maltose sans distinction. Si la portion de courbe qui dépasse la courbe de saccharification est dûe à l'intervention du saccharose, essayons de calculer approximativement la quantité de saccharose à laquelle correspond l'écart maximum

entre les deux courbes. D'après notre graphique cet écart est maximum au bout de 30 minutes environ et correspond à peu près à 0,20 gr. de maltose. Mais comme le saccharose ne peut se manifester au dosage que sous la forme de sucre interverti, possédant un pouvoir réducteur double de celui du maltose, la quantité approximative de saccharose contenue dans la farine N° 1 ne représente que la moitié environ de 0,20 soit 0,10 gr. En nous basant sur nos essais faits avec la levure sur les solutions de saccharose pur, d'après lesquels 75 % du saccharose mis en œuvre sont intervertis au bout de 1 heure de contact, nous pouvons considérer la quantité de saccharose, que nous venons de calculer, comme représentant les 75 % de la totalité du saccharose contenu dans la farine. Il est probable qu'en réalité l'écart maximum entre les deux courbes soit un peu plus grand que 0,20, la levure ayant fait disparaître déjà un peu de sucre par fermentation. Mais cette perte au bout de 30 minutes de fermentation ne peut toutefois pas être très grande, et même en exagérant celle-ci, nous ne pouvons arriver aux proportions de saccharose trouvées par Rüter d'après la méthode Lane. D'après nos calculs la teneur en saccharose dans la farine N° 1 ne dépasserait pas 0,20 %. Faisant les mêmes calculs pour la farine N° 2, nous arrivons à une teneur approximative en saccharose de 0,35 % au maximum.

Les calculs et évaluations que nous venons de faire ne nous semblent nullement absurdes, car si vraiment d'après la méthode Lane il y a du saccharose dans la farine, celui-ci y doit apparaître en présence de levure sous forme de sucre interverti. En outre, celui-ci y doit apparaître, d'après nos essais sur sucre pur, en raison de 75 % environ dans les conditions énoncées. Nous venons de démontrer par nos calculs la quantité approximative de saccharose contenue dans les deux farines, quantité qui est foncièrement différente de celles accusées par la méthode Lane dans les mesures de Rüter. Avant de pouvoir nous prononcer définitivement à ce sujet, nous devons encore examiner nos conditions de travail qui auraient pu modifier certains résultats. Ainsi venons-

nous d'admettre que l'invertase de la levure agit exactement de la même façon sur une dissolution de saccharose pur que sur le saccharose contenu dans une pâte de farine. Les conditions de concentration et autres dans les deux milieux ne sont pas les mêmes et il est possible que les vitesses d'inversion ne soient pas les mêmes dans la dissolution pure que dans la pâte. Ainsi est-il possible que dans le même laps de temps et à la même température l'inversion du saccharose dans la pâte ne se fasse par exemple qu'en raison de 20 % contre 75 dans la solution pure. Nous allons pouvoir nous en rendre compte en faisant l'essai suivant :

Nous allons incorporer à une farine une quantité pesée de saccharose pur, nous ajouterons à la farine la dose habituelle de levure, soit 0,20 gr. pour 20 gr. de substance sèche, et pour réaliser une concentration en saccharose semblable à celle devant exister dans une pâte contenant 1,5 gr. d'après la méthode Lane, nous emploierons le double d'eau d'habitude. Dans un même essai avec levure, mais sans saccharose artificiel nous mesurerons la proportion de sucres réducteurs formée. Si alors dans l'essai avec du saccharose pur additionné à la farine il n'y a pas inversion plus intense par la levure, cela ne peut tenir qu'à un empêchement créé par le milieu pâteux. La quantité de saccharose ajoutée est de 0,25 gr., soit 1,25 gr. pour 100 gr. de farine ; durée de la saccharification 1 heure. D'après la méthode Lane la farine servant à l'essai contient 1,74 gr. de saccharose. En faisant l'essai de saccharification avec la farine non additionnée de saccharose, 25 cm^3 de l'extrait sans levure réduisaient 4,5 cm^3 de $KMnO^4$ et avec levure 5,05 cm^3. La différence entre les deux, soit 0,55 cm^3, provient donc de l'inversion du saccharose par la levure. Le même essai fait sur farine additionnée de saccharose nous accuse par contre une consommation de 10,2 cm^3 de $KMnO^4$ en tout. Par conséquent la différence entre 10,2 et 5,05 cm^3, soit 5,15, représente la quantité de saccharose interverti, mais provenant du saccharose ajouté artificiellement à la farine. Cet essai démontre que dans un milieu pâteux l'invertase de la levure ne se trouve pas génée davantage. Procédons aux

calculs pour voir qu'elle est à peu près la proportion de saccharose qui a été invertie : Avant dosage nous avions procédé à la dilution préalable suivante : des 100 cm³ de liqueur initiale nous avons dilué 50 cm³ à 100. De la liqueur diluée nous avons prélevé 25 cm³ pour le dosage. Les résultats devront donc être multipliés par 8. Le titre de la solution de KMO4 était de 0,00996. Nous avons donc :

0,00996 × 5,15 = 0,0513 de cuivre.
0,0513 de cuivre = 0,026 de sucre interverti
0,026 × 8 = 0,208 de sucre interverti.
0,208 × 0,95 = 0,1976 gr. de saccharose.

En chiffres ronds 78 % du saccharose additionné à la farine ont été intervertis au sein de la pâte par l'invertase de la levure. Si nous procédons aux mêmes calculs pour évaluer la proportion de saccharose interverti, nous n'y trouvons que 6 % sur la quantité de 1,74 gr. de saccharose contenu ou préexistant dans la farine d'après la méthode Lane. Ces écarts ne peuvent provenir de la composition du milieu et, si nous tenons compte de la dilution à laquelle nous avons procédé pour réaliser à peu près la même concentration en saccharose dans les deux essais, la levure que nous avons ajoutée en même quantité dans les deux cas, était diluée du double dans l'essai additionné de sucre.

Cette étude nous oblige à croire que ce que Lane et Eynon considérant par leur dosage comme saccharose n'en est pas en totalité. En effet il n'existe qu'une sorte de saccharose, qui lui est hydrolysable aussi bien par la saccharase de la levure que par les acides; nous ne connaissons pas, par contre, d'espèce de saccharose qui ne soit hydrolysable que par les acides. L'action des acides à chaud étant assez brutale, l'interversion par la saccharase du saccharose en présence d'autres substances amylacées solubles (dextrines, etc.) nous semble plus parfaite, non portée à toucher à ces autres substances plus ou moins facilement hydrolysables elles aussi par les acides minéraux à chaud.

Les constatations que nous venons de faire ouvrent une parenthèse aux chercheurs.

Dans la suite nous allons étudier cette méthode en l'appliquant au dosage du saccharose dans diverses farines. Parallèlement nous observerons dans des essais la façon dont ce saccharose se comporte à la fermentation. En effet, si nous constatons que cette substance ou ce mélange de substances amylacées, saccharoses ou autres participent à la fermentation, nous devons en tenir compte dans nos mesures .

Pour doser le saccharose dans la farine d'après la méthode Lane, voici la façon de procéder :

On prépare une suspension dans laquelle on arrête la saccharification diastasique dans les conditions habituelles. Dans une partie de l'extrait on dose d'abord le sucre directement réducteur évalué en maltose. Sur une autre partie on procède d'abord à l'inversion. Pour cela on ajoute à l'extrait une quantité de 5 % volumétriques d'une solution d'acide chlorhydrique de 25 %. L'inversion se fait en maintenant l'extrait pendant 1 minute très exactement à l'ébullition ; refroidissement rapide dans l'eau froide puis neutralisation de l'acide ajouté. Le dosage au Fehling sur l'extrait interverti donne une quantité de cuivre ou de $KMnO^4$ provenant d'une part du maltose diastasique et d'autre part du sucre interverti par l'acide. Si par exemple il a fallu 2,2 cm^3 de solution de $KMnO^4$ pour le dosage du sucre diastasique directement réducteur et, qu'après inversion, il en a fallu 11,1 cm^3, la quantité de $KMnO^4$ correspondant à la partie intervertie est égale à $11,1 - 2,2 = 8,9$ cm^3. Pour la conversion du sucre interverti en saccharose on multipliera par 0,95, le rapport entre les deux étant de 342/360.

Comme le saccharose préexiste dans les farines, il ne doit subir aucune modification au cours de la saccharification diastasique, nous allons le doser à côté du sucre diastasique tout le long de la saccharification d'une durée de 5 heures. Voici les résultats obtenus avec une farine de force constituée de 100 % de blés étrangers :

Durée	$KMnO^4$ avant inversion (Maltose)	$KMnO^4$ après inversion	Saccharose
5 min.	2,2 cm^3 = 0,80 gr. maltose (dilution 40)	11,1 — 2,2 = 8,9 cm^3	1,763 gr.
30 min.	3,35 cm^3 = 1,21 gr. maltose (dilution 40)	12,3 — 3,35 = 8,95	1,775 gr.
1 heur.	4,35 cm^3 = 1,58 gr. maltose (dilution 40)	13,15 — 4,35 = 8,8	1,740 gr.
2 h. ½	2,75 cm^3 = 1,98 gr. maltose (dilution 80)	7,4 — 2,75 = 4,65	1,763 gr.
5 heur.	3,35 cm^3 = 2,43 gr. maltose (dilution 80)	7,95 — 3,35 = 4,60	1,761 gr.

Voici une autre série d'essais faits avec une force de 100 % de blés indigènes :

Durée de la saccharification	Sucre diastasique (Maltose)	Saccharose
0	0,24	1,727
15 minutes	0,72	1,660
2 heures	1,32	1,613
6 heures	1,96	1,690

L'ensemble des résultats montre que la proportion de saccharose est pratiquement la même tout le long de la saccharification ; en effet, si nous étudions en détail les diverses valeurs obtenues, il semble qu'on doive attribuer les faibles variations aux manipulations. Le fait de procéder au dosage du saccharose sur un extrait provenant d'une macération très jeune, encore riche en dextrines, ne semble pas influer sur la proportion de saccharose contrairement à la réserve que nous avons faite à ce sujet à l'entrée de cette étude. Ainsi pourrait-on procéder au dosage du saccharose sur un extrait provenant d'une macération de n'importe quelle durée.

S'il ne nous est pas encore possible de considérer pour le moment la substance, dosée par la méthode Lane, comme étant uniquement du saccharose, il est en tous cas certain que ce dosage met en évidence une substance, ou un mélange de substances de proportion constante, c'est-à-dire ne subis-

sant pas de modifications au cours de la saccharification diastasique.

Ainsi la proportion moyenne en cette substance, présumée comme étant du saccharose, est de 1,760 gr. dans la farine de blés étrangers et de 1,670 gr. dans celle de blés indigènes. Cette proportion en saccharose, tout en ne représentant qu'un restant de sucre ayant servi à la synthèse de l'amidon en période végétative, est relativement élevée. Dans les essais qui vont suivre nous verrons si ce saccharose est fermentescible; si oui on devra donc en tenir compte dans l'évaluation de la disponibilité des farines en sucres fermentescibles.

Dans le chapitre sur la composition générale des blés et des farines, nous avons vu que l'amande farineuse est pauvre en saccharose, celui-ci étant surtout logé dans les enveloppes et le germe. La proportion de saccharose dans une farine devra donc augmenter avec le taux d'extraction. Il en est ainsi comme le montrent les essais ci-dessous faits sur des farines de passages. Pour mettre bien en relief l'influence des substances périphériques du grain de blé à la fois sur le pouvoir diastasique et sur la teneur en saccharose des farines, nous reproduisons encore les valeurs diastasiques de la page 41 avec en plus la teneur en saccharose, dosé par la méthode de Lane :

	Sucre diastasique	Saccharose
Passage C.[1] (cœur)....	1,41 gr.	1,71 gr.
» H	3,26 »	2,45 »
» L	4,00 »	3,00 »
» O	5,74 »	3,73 »

Au fur et à mesure de l'enrichissement des farines en produits périphériques nous voyons augmenter la teneur en saccharose ; cependant, nous trouvons que cet enrichissement ne suit pas proportionnellement l'augmentation dans les farines du nombre de produits périphériques. En effet, si l'écorce et le germe constituent le siège principal du saccharose communiquant, à l'avis de certains chercheurs, par simple frot-

Farine A. — 100 % de blés indigènes.

Age de la pâte	Sucres préexistants et diastasiques		Variations dans les sucres au cours de la fermentation		Sucres fermentescibles (Maltose + Saccharose)	
	Maltose	Saccharose	Maltose	Saccharose	disponibles	non utilisés val. corrigée
15 min.	0,770	1,600	0,890	1,420	2,370	2,22
1 h.	1,132	1,562	1,222	1,231	2,694	2,33
2 h. 1/2	1,572	1,607	1,348	1,030	3,180	2,35
4 h.	1,908	1,500	0,950	0 914	3,408	1,87
6 h.	2,190	1,503	0,249	0,775	3,693	1,03

Farine B. — 100 % de blés exotiques de force.

Age de la pâte	Sucres préexistants et diastasiques		Variations dans les sucres au cours de la fermentation		Sucres fermentescibles (Maltose + Saccharose)	
	Maltose	Saccharose	Maltose	Saccharose	disponibles	non utilisés val. corrigée
20 min.	1,220	1,725	1,330	1,500	2,945	2,70
1 h.	1,938	1,703	2,260	1,330	3,641	3,27
2 h. 1/2	2,640	1,767	2,734	1,233	4,407	3,69
4 h.	2,920	1,751	2,328	0,990	4,671	3,24
6 h.	3,400	1,680	1,130	0,969	5,080	2,05

tement des produits entre eux au cours de la mouture ce sucre à la farine, sa teneur dans les farines basses, tel que le passage O, devrait être de plus du double, étant donné que celle-ci contient plus du quadruple en principes périphériques que la farine C.

Nous allons essayer de reprendre nos mesures pour l'évaluation des besoins de la levure en sucre fermentescible. Nous allons naturellement tenir compte maintenant de la proportion de saccharose, dosé selon la méthode Lane, celui-ci devant intervenir dans nos calculs si nous constatons à la suite qu'il disparaît au cours de la fermentation. Nous ne changerons bien entendu rien à la technique adoptée pour nos essais précédents. Nous ferons une étude complète sur une farine de 100 % de blés de pays et sur une farine de 100 % de blés étrangers de force. La quantité de levure employée pour ce travail direct est de 1 %, la proportion de NaCl de 2 %.

Dans les tableaux de la page 164 nous donnons les chiffres bruts tels que nous les avons obtenus par les différents dosages. Connaissant maintenant les principaux facteurs, les uns provenant des farines mêmes, les autres dus à la levure, qui sont susceptibles de créer et de faire apparaître les divers sucres, nous essayerons de corriger certaines de ces valeurs expérimentales qui serviront à établir nos graphiques.

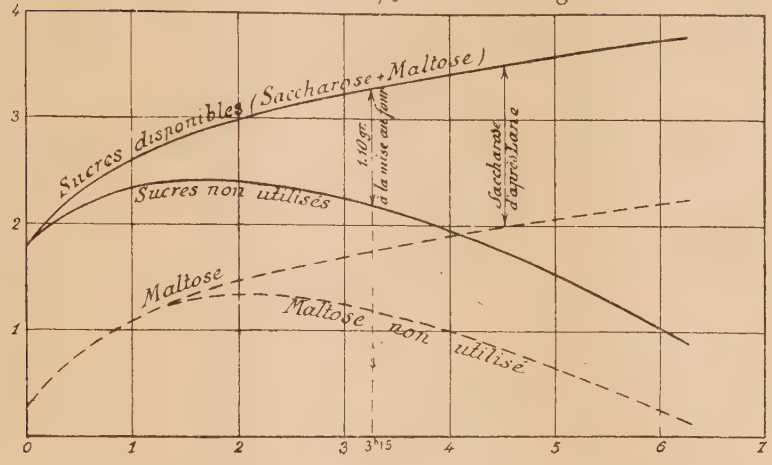
En examinant les divers résultats obtenus avec les deux farines, nous retrouvons toujours l'augmentation de la proportion des sucres réducteurs dans les pâtes au début de la fermentation, phénomène illustré par les deux graphiques de la page 137. Nous connaissons maintenant son origine. Ce qui nous intéresse plus particulièrement après cette nouvelle série d'essais, c'est la participation à la fermentation du saccharose Lane. Nous avons d'abord dosé ce saccharose au cours de la saccharification diastasique de la pâte en l'absence de levure. Dans les deux farines sa proportion semble baisser légèrement pendant la saccharification, mais cette diminution est si faible que l'on peut la négliger. Ainsi la farine A contient une proportion moyenne en saccharose de 1,554 gr., la farine B en contient 1,725 gr. Au cours de la fermentation on voit

baisser ces proportions au fur et à mesure ; ainsi après une durée de fermentation de 6 heures il ne reste plus dans la farine A que 0,775 et 0,969 gr. dans la farine B. La perte est dans les deux farines sensiblement la même : 0,779 gr. pour A et 0,756 gr. pour B. Par conséquent une grande partie du saccharose-Lane est utilisée par la levure et celle-ci le prélève là où elle le trouve ; ainsi l'épuisement de la pâte A, plus pauvre en sucre diastasique, est plus considérable que dans la pâte de farine B, puisque sur la quantité totale de saccharose préexistant dans les deux farines 50 % ont été utilisés dans A contre 44 % seulement dans B. Ces essais démontrent donc que le saccharose dosé par la méthode Lane participe en grande partie à la fermentation. Pour l'évaluation de la quantité de sucre nécessaire à la fermentation panaire il faut donc, en plus du sucre diastasique, tenir compte de la proportion de saccharose-Lane qui préexiste dans les farines. La quantité de sucres fermentescibles disponible dans une farine est donc représentée par la somme des sucres préexistant (saccharose Lane) et diastasique (maltose). Ainsi la courbe des sucres fermentesscibles se compose de quantités variables de maltose en fonction de la durée de la saccharification auxquelles vient s'ajouter une quantité fixe de saccharose préexistant. En examinant ces valeurs on reconnaît maintenant la réserve très importante en sucres fermentescibles qui se trouve dans une pâte de farine au cours de la fermentation panaire. Ainsi au bout de 6 heures de saccharification il y en a plus de 3,500 kg. dans A et 5 kg. dans B pour 100 kg. de farine, quantités qui sont susceptibles de produire un volume respectable de CO^2 de fermentation.

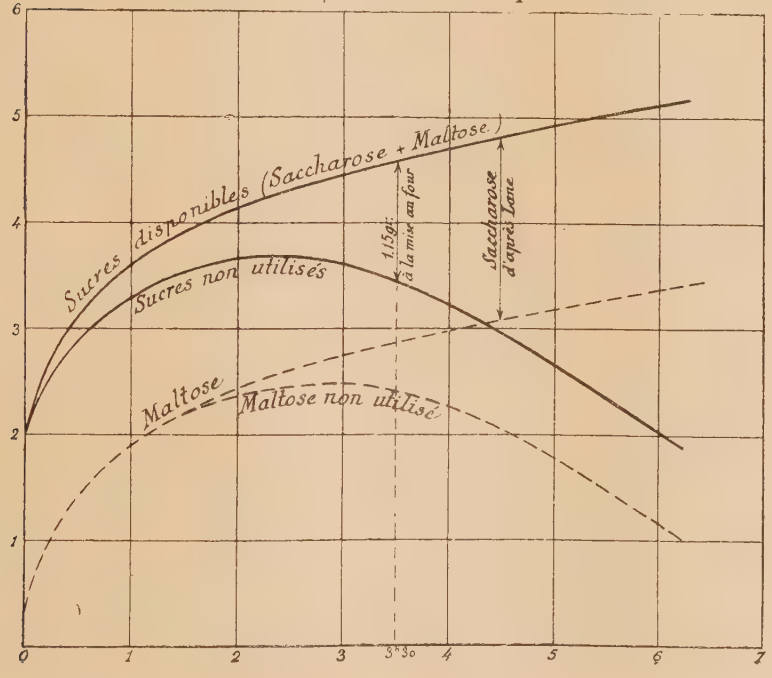
Si l'on veut essayer maintenant de chiffrer la proportion de sucres disparaissant au cours de la fermentation, il suffit, en principe, de procéder à une simple soustraction entre les valeurs disponibles et les valeurs non utilisées pour connaître à chaque instant les pertes. Mais nous avons déjà vu que le problème se complique à la suite de l'interversion d'une certaine quantité de saccharose (environ 75 % dans les solutions de saccharose pur) par l'invertase de la levure, accusant

Evaluation de la quantité de sucres disparaissant au cours de la fermentation panaire

Farine A. -- 100 % de blés indigènes.



Farine B. -- 100 % de blés exotiques de force.



faussement une augmentation de la proportion de maltose diastasique. Comme il est pratiquement impossible, dans une pâte subissant déjà au bout de 1 heure des pertes par fermentation, de déterminer quantitativement la part du cuivre réduit par le maltose et celle produite par la proportion de saccharose interverti, nous ne pourrons procéder qu'à une évaluation approximative des pertes par fermentation. Nous avons vu au cours de nos essais que l'interversion du saccharose dans les pâtes de farine ne se faisait qu'en raison de 6 % environ; en tenant compte de cette proportion assez faible, nous pouvons donc avec une approximation relativement satisfaisante calculer la quantité de sucres disparue au cours de la fermentation.

Pour corriger les valeurs de maltose non utilisées au cours de la fermentation, nous devons tenir compte du pouvoir réducteur du sucre interverti. Nous avons en effet calculé la proportion de cuivre, réduit par les substances réductrices contenues dans les pâtes en fermentation, comme maltose. Mais comme le saccharose sous forme intervertie réduit le double du cuivre que le maltose, l'écart maximum entre la proportion de maltose diastasique dans les pâtes avec levure et celle dans les pâtes sans levure est de 50 % trop élevé. Cet écart maximum entre le maltose diastasique sans levure et celui avec levure est de 0,10 gr. pour la farine A correspondant en réalité à 0,05 gr. de saccharose ; il est de 0,30 gr. pour la farine B, correspondant à 0,15 gr. de saccharose. Le maximum d'écart entre les deux courbes se trouve au bout de 1 à 1 heure ½ de fermentation. Au bout de ce laps de temps les pâtes fermentent déjà très sensiblement ; il y a par conséquent déjà eu disparition de sucre en quantité plutôt supérieure à 0,15 gr. Ainsi pouvons-nous, en calculant plutôt trop juste, négliger tout à fait cette quantité de 0,05 et 0,15 gr., et au bout de 1 heure de fermentation les valeurs des 2 courbes de sucres directement réducteurs se confondent pratiquement. Quant aux autres valeurs au bout de 2, 3, 4 à 6 heures de fermentation, elles correspondent à très peu de chose près à la réalité tout en étant exclusivement calculées en maltose.

Les graphiques de la page 167 représentent les courbes de sucre avant et pendant la fermentation ; la courbe du maltose après fermentation est corrigée selon les évaluations que nous venons de faire et d'après nos essais elle devra à 6 % près correspondre à la réalité. Pour connaître alors la quantité de sucre qui était nécessaire à obtenir une pâte assez levée donnant un pain normalement développé, nous avons procédé à des essais de panification dans des conditions absolument identiques à celles de nos essais pour le dosage des sucres. Ces essais ont été faits avec 500 gr. de farine, même proportion de sel et de levure (1 %), eau 67 et 72 %, température depuis le pétrissage jusqu'à la mise au four 27° C. *Nous avons laissé entière liberté au boulanger pour choisir le moment de la mise au four des pâtes.* Ainsi la pâte de farine A a été enfournée au bout de 3 heures 15 minutes de fermentation, la pâte de farine B au bout de 3 h. 30. Par conséquent, la différence entre la quantité de sucres disponible et la quantité de sucres non utilisée au moment de la mise au four correspond à la quantité de sucre nécessaire à la levure pour donner à la pâte le degré de fermentation nécessaire. Ainsi la levure a-t-elle prélevé 1,10 gr. de sucre dans la pâte de farine A et 1,15 dans la farine B. L'identité des deux résultats est d'autant plus surprenante que les deux farines essayées diffèrent essentiellement l'une de l'autre par la nature des blés d'abord et par leur pouvoir diastasique surtout. Notons déjà que ces études ne constituent que des évaluations approximatives. En effet, si nous arrêtons les dépenses en sucre au moment de la mise au four des pâtes, cela ne correspond pas strictement à la réalité, la saccharification d'une part et la fermentation d'autre part continuent encore durant le temps que met la pâte à atteindre le degré de température qui arrête définitivement le travail fermentatif. Ce laps de temps est cependant assez court et ce n'est certes pas au cours de cette période de cuisson qu'une pâte peut rattraper ce qu'elle n'a pu produire pendant la fermentation principale. En tenant compte du travail fermentatif qui peut encore se faire dans la pâte enfournée, nous estimons que la perte totale en sucres

ne dépasse pas *1,50 gr. pour 100 gr. de farine*. Nous ne croyons d'ailleurs pas non plus que la levure puisse bénéficier encore de l'augmentation de la saccharification diastasique résultant de la transformation par l'action de la chaleur de l'amidon globulaire en empois, ces températures étant mortelles pour la levure ; d'autre part l'intensité fermentative de la levure est sérieusement ralentie une fois 40° dépassés. Pour rester dans le cadre de notre sujet, l'évaluation des besoins de la levure en sucre se limite à la période qui comprend la fermentation de la pâte à basse température.

De ces essais nous tirons quelques conclusions intéressantes. Ils nous ont permis d'abord de nous rendre compte du mécanisme général de la fermentation et de la nature des sucres qui y participent. Ainsi une farine contient une certaine quantité de sucres disponibles comprenant d'une part du sucre préexistant non réducteur (saccharose Lane) et d'autre part du sucre qui prend naissance par action diastasique. La proportion de sucre diastasique est fonction de la température, de l'activité diastasique et de la composition physique et chimique de la farine. Dans une fermentation normale la levure puise dans cette réserve sans se préoccuper de son importance. Ainsi que le montrent les graphiques, les pertes en sucre et par conséquent la fermentation sont assez faibles au début. La fermentation se fait aux dépens du sucre diastasique et du sucre préexistant à la fois. Pous nos essais nous avions choisi avec intention une farine de faible pouvoir diastasique et une autre de P. D. élevé. Au point de vue fermentatif nous ne voyons pas en quoi diffèrent l'une de l'autre, la levure ayant puisé la même quantité de sucre dans les deux. Si la pâte B présentait un aspect plus gonflé que la pâte A, cela ne tient pas à des différences de quantités de gaz produites mais à une meilleure rétention, les qualités plastiques des deux pâtes étant essentiellement différentes l'une de l'autre. Les pains que nous avons obtenus avec les deux farines étaient absolument satisfaisants, chacun correspondant à la qualité de la farine employée. Comme il n'y a pas de différences dans la consommation de sucre pendant la fermentation, la production

de CO^2 ayant été par conséquent la même, les différences dans l'aspect général des pains, leur volume, etc., ne sont pas imputables à la fermentation. Enfin comme il reste dans les deux pâtes, au moment de leur enfournement, encore une proportion très élevée de sucres non utilisés, la levure vivait dans les deux cas dans un excès de sucre. Il est certain que dans toute farine panifiable, non avariée, il se trouvera toujours des sucres en quantité suffisante à la fermentation, et nous ne voyons pas de quelle façon les quelques variations que peuvent présenter les diverses farines dans la production du sucre diastasique puissent agir sur la fermentation. Du moment qu'il reste du sucre inutilisé au moment de la mise au four c'est que la fermentation a pu se faire normalement et nous n'admettons pas — jusqu'à preuve du contraire — qu'il y ait des farines qui, malgré le concours apporté par le sucre préexistant, ne puissent même offrir à la levure le strict minimum de sucre nécessaire à la fermentation. Ce raisonnement nous semble d'autant plus juste que les farines livrées au commerce résultent de plus en plus de mélanges de blés de provenance très diverse. Ainsi ne pouvons-nous admettre que les quelques variations du P. D. que l'on observe généralement (voir le tableau de la page 63) puissent avoir quelques conséquences sur la fermentescibilité des farines. Il est entendu que nous faisons abstraction ici de certaines anomalies flagrantes dans la saccharification comme nous la rencontrons par exemple dans les farines de blés germés. Nous avons déjà étudié le problème de la nécessité de sucres fermentescibles d'une autre façon en ajoutant aux farines les doses croissantes soit de farine de malt, soit de maltose ou de saccharose pur. De cette étude nous avions alors tiré la conclusion suivante : le fait d'ajouter à de la farine du sucre sous n'importe quelle forme n'accélère pas la levée de la pâte, au contraire, on constate généralement avec des doses supérieures à 1 ½ % un ralentissement dans la vitesse de fermentation. En nous documentant sur la question nous avons d'ailleurs trouvé confirmation de nos propres observations. Ces constatations cadrent tout à fait avec les résultats que

nous venons d'obtenir avec nos deux farines. La levure ne semble pas se préoccuper dans son travail des proportions de sucre disponible qu'elle rencontre dans les farines, à condition bien entendu que les variations ne soient pas trop importantes. Elle puise dans cette réserve en n'y prenant que ce qu'elle peut matériellement transformer. Par contre si l'on augmente outre mesure la concentration en sucre, la levure s'y trouve plutôt gênée dans son travail. Les farines maltées ou extraites de malt agissent encore à notre avis en changeant l'état physique des pâtes surtout par le simple apport de produits de propriétés physico-chimiques autres ; au point de vue enzymatique ils agissent surtout par protéolyse, déterminant ainsi des variations de plasticité du gluten qui donne l'ossature à la pâte. Encore faut-il être très prudent dans l'emploi de ces produits qui, dans des cas mal choisis, peuvent faire plus de tort que de bien. Ainsi l'action digestive des ferments protéolytiques, contenus dans les produits germés et leurs extraits, agit favorablement en assouplissant un gluten trop coriace. En ce qui concerne la coloration de la croute du pain, cette question n'a rien à faire avec la fermentation. Il est certain que la présence dans une pâte d'une proportion relativement élevée de produits sucrés et dextrinisés communique à la croute de pain une coloration plus intense par simple caramélisation sous l'action de la chaleur du four. Cependant, l'incorporation de produits maltés n'est pas toujours compatible avec la qualité et la maniabilité de la pâte.

Nous considérons comme absolument erroné le fait de vouloir voir dans le pouvoir diastasique d'une farine un indice de sa valeur fermentative (Gährkraft). Il n'y a pas à l'intérieur des farines panifiables non avariées de différences dans la production des gaz de fermentation. Si une pâte lève plus vite qu'une autre, cela tient à la meilleure rétention des gaz produits, qualité d'ordre purement plastique. Il est certain que la plasticité peut se trouver plus ou moins modifiée au cours de la fermentation par l'action digestive exercée et par les diastases de la farine et par les ferments de la levure ; là

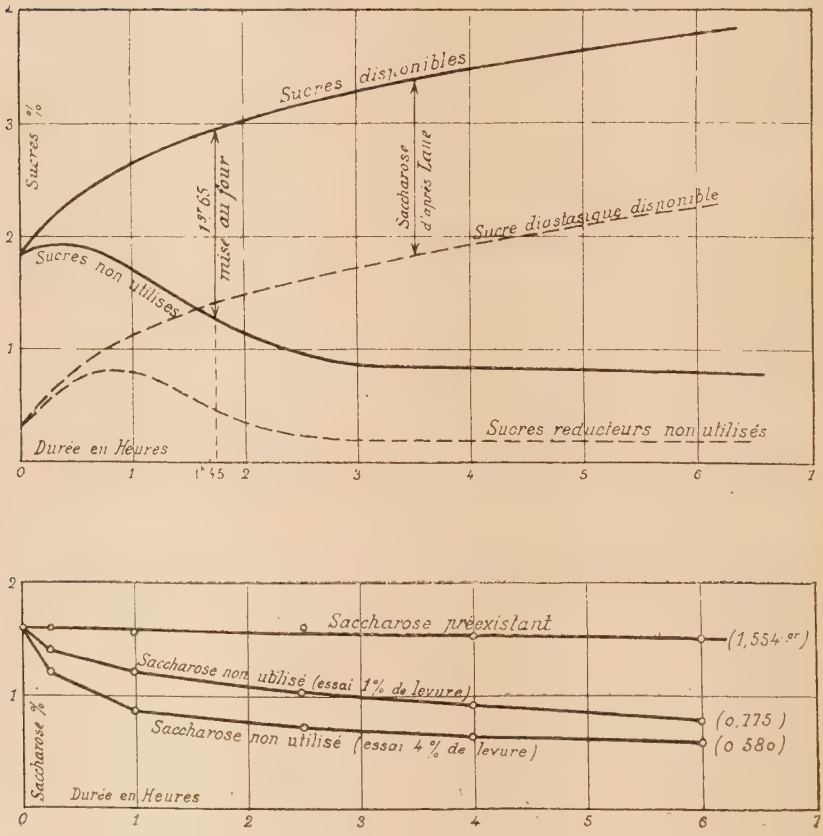
encore nous avons à faire à des variations de plasticité et non pas à des variations de la vitesse de la fermentation proprement dite. Nous estimons que dans ces sortes d'évaluations on confond trop facilement ces deux phénomènes cependant essentiellement différents.

Dans les essais que nous venons de faire, nous avons employé 1 % de levure. En ce qui concerne la quantité de levure à employer pour la fermentation des pâtes de pain, les avis sont généralement assez partagés ; ainsi sur 10 méthodes de contrôle de farine par essai de panification on préconise pour chacune une autre proportion de levure ; nous ne savons vraiment sur quoi les différents auteurs peuvent se baser pour adopter des doses aussi disparates les unes des autres. Ainsi avons-nous voulu nous rendre compte de la marche de la fermentation et de consommation de sucre dans une pâte contenant 4 % de levure. Nous avons donc refait les mêmes essais et dosages avec la farine A, additionnée de 4 % de levure. Le graphique de la page 174 donne d'une part l'allure complète du phénomène puis d'autre part la participation du saccharose-Lane à la fermentation dans les essais avec 1 et 4 % de levure. Un simple coup d'œil sur le graphique montre que la fermentation a été bien trop tumultueuse ; en effet au bout de 1 h. 45 la pâte était prête à être enfournée et 1,65 gr. de sucres avaient disparu à ce moment contre 1,15 gr. dans l'essai avec 1 % de levure. Le boulanger, en travaillant ainsi, aura donc gagné beaucoup de temps pour faire son pain. Examinons maintenant un peu les résultats : L'aspect du pain d'abord ; la pâte au moment de l'enfournement était molle et plate contrairement aux essais précédents. La miche une fois cuite était comme une galette, de faible volume et de croute épaisse. La mie était serrée et pas cuite. Les pains longs étaient plats, crevassés à la surface avec tous les coups de lame entremêlés. Le pain avait cet aspect typique provenant de farines absolument médiocres, sans corps. Le pain que nous avions par contre obtenu avec la même farine mais en travaillant avec 1 % de levure avait été plus volumineux et bien moins affaissé avec une mie bien

Les besoins de la levure en sucres fermentescibles

Essais avec 4 °/₀ de levure.

Farine A. -- 100 °/₀ de blés indigènes.



Participation du saccharose-Lane à la fermentation.

divisée. Quelle est la raison pour laquelle la qualité pouvait être aussi essentiellement différente ? Ainsi que nous l'avons déjà dit, la cohésion de la pâte devient de plus en plus intime avec l'âge ; une pâte fraîchement pétrie ne possède jamais la même homogénéité et liaison intime qu'au bout de quelques heures de repos ; c'est le phénomène que l'on considère généralement comme « la maturation » de la pâte, phase au cours de laquelle la plasticité augmente jusqu'à un certain degré. Ce phénomène, s'il est dans une certaine mesure influencé par l'action fermentative ou plutôt digestive de la levure n'est pas provoqué par l'action de la levure comme on le croit trop souvent, mais se produit indépendamment de la fermentation proprement dite. Nous avons maintes fois fait cette constatation au cours de nos essais purement diastasiques, où nous étudions les pâtes sans levure. Imaginons, pour exagérer l'essai à 4 % de levure, un procédé permettant de faire lever instantanément la pâte aussitôt pétrie ; le pain ainsi obtenu sera plus médiocre encore, puisque la pâte fraîchement pétrie manque alors tout à fait d'homogénéité et de cohésion. Ainsi faut-il comme nous l'avons déjà dit un minimum de temps pour faire prendre à la pâte les propriétés physiques nécessaires à retenir à la fermentation le gaz carbonique dégagé par la levure et à céder au four ensuite à sa poussée. Plus la pâte se trouvera éloignée de cet optimum d'état physique moins le pain sera développé. Quand le boulanger constate que la pâte manque de corps, il essaye de la corriger en la travaillant encore à une ou plusieurs reprises au cours de la fermentation. Ainsi les pâtes gagnent le plus généralement en fermeté. Procédons de la sorte avec notre pâte à 4 % de levure, le boulanger ayant jugé qu'il serait préférable de la retravailler au bout de 1 h. 45 plutôt que de l'enfourner. En retravaillant la pâte, la majorité du gaz carbonique échappe inévitablement et la pâte demande une nouvelle fermentation pour être suffisamment levée. Ainsi le pliage aura augmenté la cohésion et la plasticité de la pâte, mais une fois en couche le boulanger aperçoit à sa grande stupéfaction qu'elle ne lève plus avec la même rapidité qu'au

début. Et cependant,, dira-t-il, j'y ai mis quand même de la levure en quantité. Certes, et c'est précisément la forte proportion de levure qui est la cause de son échec. En consultant notre graphique, nous voyons aussi que déjà au bout de 1 h. 45 la majorité de la réserve en sucre a disparu. Si donc l'on veut pousser la durée de la fermentation au-delà d'une certaine limite, uniquement dans le but de corriger la plasticité, il ne reste presque plus rien comme sucre pour la levure. La réserve épuisée, la levure ne pourra plus se nourrir qu'aux dépens du sucre diastasique qui se forme au fur et à mesure ; l'essor que possédait la pâte au début est tombé, car il y a eu dégagement d'un volume supérieur de gaz au bout de 1 h. 45 dont la pâte n'a pu bénéficier qu'au bout de 3 h. ½ normalement avec 1 % de levure. Ce dernier essai nous montre en effet combien il est dangereux d'arriver au moment de l'enfournement à l'épuisement presque complet de la réserve en sucre, car si pour une raison quelconque on se trouve dans l'obligation de poursuivre la durée escomptée des opérations, l'intensité de la fermentation tombe, la pâte ayant été vidée de sa réserve en sucre.

Dans notre essai avec 4 % de levure nous relevons aussi une particularité dans la façon dont disparait le sucre. D'après le graphique de la page 174 nous voyons en effet que tout en forçant la dose de levure on n'arrive jamais à l'épuisement complet des sucres dans la pâte ; ainsi au bout de 3 heures de fermentation la proportion de sucre non utilisée reste constante, se traduisant par un pallier. A partir de ce moment-là la concentration en sucre dans la pâte est faible, et la seule source dans laquelle peut alors puiser la levure est le sucre produit par amylolyse. Mais comme l'intensité de la saccharification diminue au fur et à mesure, la production de maltose devient de plus en plus faible et par conséquent l'activité fermentative de la levure aussi. Nous avons voulu trouver une explication plus complète de la raison pour laquelle il y a un pallier dans la consommation de sucre à partir d'une certaine proportion qui était pour notre essai de 0,79 gr. Nous avions étudié parallèlement la participation à la fermen-

tation du saccharose-Lane dans les essais avec 1 et 4 % de levure. Dans un graphique annexé, de la page 174, nous avons représenté d'une part le saccharose-Lane disponible et d'autre part les proportions de saccharose non utilisées par la levure. Ainsi voyons-nous qu'avec 1 % de levure ce saccharose participe à la fermentation en raison de 50 %, alors qu'avec une dose de levure, 4 fois plus forte il n'y participe plus — et dès la 4e heure — qu'en raison de 63 % environ. Le graphique nous montre aussi que sa participation est très considérable au début, c'est-à-dire au bout de 1 heure de fermentation pour tendre presque à zéro après. Cela nous a encore amené à nous poser la question à savoir si ce qui est dosé d'après la méthode Lane est vraiment et exclusivement du saccharose. Nous rappelons ici les raisons pour lesquelles nous avons douté alors de sa véritable identité : l'emploi d'une forte acidité à l'ébullition d'abord pour son interversion, puis la grande différence dans sa façon de se comporter en présence de la levure qui ne peut intervertir que 6 % de la quantité totale dosée par la méthode Lane, alors que la levure dans les mêmes conditions intervertit 75 % au moins d'une solution de saccharose chimiquement pur. Voici maintenant encore une nouvelle question posée, à savoir pourquoi sur la quantité de saccharose-Lane, qui préexiste pourtant et qui est par conséquent immédiatement disponible, la levure n'en prélève en totalité que 2/3 environ. Il se pourrait que dans la méthode Lane l'acide à chaud pour l'inversion du saccharose touche encore à autre chose. Sur quelles substances autres que le saccharose, le maltose et les dextrines par exemple l'acide à chaud pourrait-il encore agir ? On a signalé l'existence dans le grain de blé de gommes, pentosanes et du raffinose. C'est ce dernier sucre qui retient notre attention. Le raffinose est un trisaccharide qui, comme le saccharose, ne réduit la liqueur de Fehling qu'après inversion. L'inversion le transforme en un mélange équimoléculaire de glucose, lévulose et galactose. Contrairement au saccharose, la levure de fermentation haute (de boulangerie) ne peut le fermenter qu'en raison de 2/3 correspondant au glucose. Les

levures basses par contre peuvent faire fermenter la totalité du raffinose. Ainsi peut-on se demander si dans ce que l'on considère d'après la méthode Lane comme saccharose, il n'y aurait pas en réalité un mélange de saccharose, de raffinose ou d'autres substances à fonctions réductrices, susceptibles de donner des produits d'inversion incomplètement fermentescibles. Ces quelques réflexions montrent que la farine n'est encore à l'heure actuelle qu'un champ moitié exploré. Malgré les nombreux travaux faits pendant la guerre déjà et surtout depuis, on est malheureusement encore trop souvent obligé de se baser pour quantités d'observations sur de simples suppositions ou hypothèses, qui reposent trop souvent sur des bases bien frêles.

Pour terminer nous allons donner quelques observations d'ordre pratique que nous avons faites au cours de nos essais sur les pâtes avec ou sans levure ; nous estimons qu'elles sont susceptibles d'être d'une certaine utilité à la boulangerie. Nous avons assez insisté sur la confusion qui est généralement faite entre l'intensité de la fermentation, c'est-à-dire entre l'intensité de la production de CO^2 et la vitesse observée dans la levée de la pâte. Une pâte retenant mal les gaz dégagés ne pourra être corrigée en intensifiant davantage la production gazeuse, ce sont les défauts de plasticité qu'il faut corriger. Il y a des cas, où le fait d'ajouter des produits diastasés à une pâte, améliore effectivement la levée. La cause de cette amélioration résulte cependant moins de l'activation de la production de CO^2 à la suite d'un apport en sucres fermentescibles, mais plutôt de changements des qualités plastiques de la pâte déterminés par la qualité des substances azotées apportées par ces produits diastasés et par leur action protéolytique plus particulièrement. Les extraits de malt contiennent obligatoirement en plus des diastases saccharifiantes des ferments protéolytiques qui agissent sur les substances azotées de la farine et par conséquent sur le gluten. La qualité du gluten et la nature de l'azote soluble déterminent en grande partie la valeur plastique d'une farine. Le gluten peut être mou, plus ou moins ferme et court ou élastique voire coriace et sans élasticité.

L'action prolongée des ferments protéolytiques tend à disloquer les molécules complexes de protéïne ; cette action, selon l'intensité, agit sur les propriétés physico-chimiques et donc sur les propriétés plastiques du gluten. Ainsi un gluten trop ferme peut gagner une certaine souplesse par une action protéolytique ménagée. Malheureusement l'emploi des extraits de malt est trop pratiqué sans connaissance de cause et conduit, ainsi que nous l'avons vu trop souvent, à des résultats généralement non escomptés par les boulangers. Il ne faut certes pas vouloir améliorer une farine de gluten mou et filant avec des produits diastasés. La raison pour laquelle certains boulangers trouvent ces produits bons, d'autres par contre détestables n'est pas difficile à trouver et réside uniquement dans les différentes qualités de farines employés par les uns ou les autres.

Voici une autre observation particulièrement intéressante pour le boulanger ; c'est celle qui a trait au phénomène de maturation des pâtes. Nous avons déjà eu l'occasion de parler de ce que l'on nomme la maturation. Nous avions constaté qu'une pâte fraîchement pétrie manque encore tout à fait de cohésion et selon la qualité des farines employées est alors encore plus ou moins homogène et courte, parfois déjà liée et élastique. Avec le temps la cohésion augmente et l'on observe dans un premier stade généralement une amélioration des qualités plastiques. Nous avons étudié l'allure de ce phénomène surtout sur des pâtes sans levure, c'est-à-dire faites uniquement avec de l'eau avec ou sans sel. Cette étude s'était imposée lors de nos mesures du P. D. sur pâtes, puisque nous éprouvions alors des difficultés plus ou moins sérieuses, selon les farines essayées, à remettre convenablement en suspension homogène les pâtes de consistance normale. Les observations que nous faisions alors étaient les suivantes : Une farine fraîchement pétrie de quelle nature qu'elle soit se remettait aisément en suspension par simple trituration en lui ajoutant au fur et à mesure un excès d'eau. La même pâte au bout de 1 heure de repos se révélait déjà plus homogène et élastique et se prêtait encore à sa dislocation. Au bout de 2 ½ à 3 heures

la liaison devenait telle que sa remise en suspension s'opérait déjà avec quelques difficultés, son gluten ayant tendance à vouloir se séparer de l'amidon sous forme de grumeaux plus ou moins gros. Avec les pâtes de farine à gluten coriace la remise en suspension devenait alors tout à fait impossible, la liaison du réseau glutineux étant devenue tellement intime que celui-ci se sépare sous forme d'un caillot. Ces divers stades observés correspondent précisément au mûrissement des pâtes au cours de la fermentation panaire, mais le phénomène se passe, ainsi que nous venons de le montrer, en l'absence de levain ou de levure. Il est certain que les ferments apportés par la levure influent aussi sur ce phénomène, mais ils ne le déterminent pas à eux seuls. Nous avons observé depuis des années et en commun avec le boulanger les changements de l'état physique des pâtes pendant la fermentation et avons pu, en les comparant avec nos essais ci-dessus conduits sans levure aucune, reconnaître l'exactitude de la façon de procéder avec succès à la panification suivant la qualité des farines. Toute farine demande à la boulangerie, selon sa composition, une conduite différente du travail. Un boulanger ayant l'habitude de travailler exclusivement des farines de blés de pays à gluten plutôt mou ou moyennement tenace, fera inévitablement du pain médiocre de vilain aspect le jour où il aura à travailler, sans avoir été prévenu et s'il ne possède l'habitude, une farine de blés de force à gluten très nerveux et tenace ou coriace. Nous avons fait maintes fois cette constatation dans la pratique. Il est entendu que cette farine est considérée alors par le boulanger en question comme ne valant rien et bien autres choses..., alors que l'habitué de cette sorte de farine produit un pain inégalé par n'importe quelle autre farine issue de blés tendres de meilleure qualité. Il y a des boulangers qui savent cuire avec succès nos farines de blés de pays, mais qui ne savent pas cuire les farines de force ; ces derniers prétendent qu'au bout d'un certain temps de fermentation et après quelques pliages la pâte de farines de force se bride, devient tenace, dure comme du « bois » et au lieu d'augmenter de volume au four se rétrécit plutôt. La raison principale

de l'échec réside surtout dans le fait que ces boulangers appliquent la plupart du temps à ces farines de force la même méthode de travail qu'aux farines de blés tendres. Or ces deux sortes de farines se comportent très différemment au pétrissage déjà puis pendant la fermentation, constatation que nous avons faite précisément dans notre étude des pâtes sans levain pour connaître les possibilités de leur remise en suspension en fonction du temps. La pâte de farine de blés tendres demande bien plus de temps à acquérir une plasticité satisfaisante à sa bonne tenue à la fermentation et au four qu'une pâte de farine de blés de force. Le boulanger d'ailleurs procède au cours de la fermentation à l'opération du « pliage » ou du « tour » à donner à la pâte, qui consiste à retravailler celle-ci si au toucher, sa plasticité ne lui donne pas satisfaction. Aussi le nombre des pliages est variable et dépend précisément de la qualité des farines. Une pâte molle par exemple qui « pousse » plat est souvent pliée et repliée sans aboutir toujours à la bonne tenue voulue, alors que d'autres pâtes se raffermissent à un point tel que le pliage ne ferait que de les brider davantage (cas général des farines trop tenaces). Il est certain, et nous voyons ici l'importance capitale de la valeur plastique, que l'opération du pliage, faite sur des pâtes molles, plates et humides dites « inertes » à la fermentation, n'a pour but que d'améliorer la plasticité de la pâte et par conséquent la meilleure rétention gazeuse et non pas l'intensité de la production du gaz carbonique, puisque par le pliage le gaz déjà retenu par la pâte est perdu. Le gaz dégagé n'a donc pu profiter à cette pâte défectueuse comme plasticité. Il y a donc 2 phénomènes qui se passent au sein d'une pâte et qui sont pratiquement indépendants l'un de l'autre. Le premier est celui considéré comme « maturation », résultant de phénomènes physico-chimiques et enzymatiques, dont l'optimum variable dépend de la nature des blés ; le deuxième est celui de la fermentation proprement dite provoquant le dégagement, au sein de la pâte, du gaz carbonique par la levure. Les deux phénomènes sont essentiellement variables. Le degré de maturation ou l'optimum de plasticité est atteint plus ou moins

rapidement selon les farines, et l'intensité de dégagement du gaz carbonique est fonction de la quantité de levure employée. Etant donné ces deux variables, l'art du boulanger consiste à faire coïncider l'optimum d'intensité de la fermentation avec l'optimum de plasticité de la pâte. Ainsi la pâte de qualité parfaite pourra retenir et profiter intégralement du travail fermentatif de la levure, et le boulanger sera d'autant plus adroit qu'il pourra se rapprocher le plus possible de ce point commun idéal.

Nous avons pu vérifier maintes fois par des essais de boulangerie en grand l'exactitude de cette théorie, ayant trouvé que les pâtes de farines de blés tendres en fermentant *longtemps* avec *peu de levure* donnent le plus de satisfaction contrairement aux pâtes de farines de force, qui doivent fermenter *rapidement* avec *beaucoup de levure*. Pour ces dernières, en effet, le stade de plasticité optimum est atteint plus rapidement et l'on évitera ainsi de le dépasser, point à partir duquel ces pâtes ont tendance à devenir tellement coriaces qu'elles se brident au four.

Quantités de boulangers ne pratiquent pas encore ce qu'on appelle le « travail direct » et ont l'habitude de procéder avant le pétrissage proprement dit à la confection d'un petit levain ou polish, espèce de pâte assez claire qui, après une première fermentation ou digestion, est ajoutée au moment du pétrissage à la totalité de la masse de farine soumise aux opérations de la panification. Le but de cette opération consiste à bien amorcer ainsi la fermentation principale et à faire atteindre à la totalité de la masse de pâte plus rapidement le bon degré de plasticité par un apport de produits déjà mûris. Le boulanger dit d'ailleurs que la polish donne plus de charpente à la pâte ; cette opération a donc trait à la correction de la plasticité d'une farine et non à sa valeur fermentative.

Nous estimons que le travail direct dans le sens du mot, garantit le plus de succès au boulanger en le mettant à l'abri de quantités d'échecs pouvant résulter de facteurs contre lesquels il n'est souvent pas en mesure de lutter. Il est certain

que le travail direct moyennant lequel l'ensemble des opérations ne dépasse pas 5 heures au maximum, le protège contre tout excès de chaleur en période chaude où les plaintes sont à l'ordre du jour. Nombreux sont les boulangers qui pratiquent une méthode, dénommée faussement comme « directe », consistant à faire fermenter leurs pâtes de la veille au lendemain ; il suffit que la chaleur se mette de la partie pour faire avancer ces pâtes à outrance alors qu'elles ne possèdent plus aucune réserve en sucres pour « donner » convenablement une fois en couche. Ce sont des pâtes mortes, inertes au four, donnant des pains serrés et indigestes, repoussants comme odeur et comme saveur puisque la levure affaiblie par le manque de sucre a cédé sa place aux microbes. Notons qu'il n'est pas rare du tout que les boulangers trouvent moyen d'incriminer dans des cas pareils la qualité de la farine.

Nous arrivons enfin à la question de la quantité de levure à employer utilement pour la fermentation. En tenant compte des différences de temps que mettent les diverses farines à atteindre le bon degré de maturation, nous estimons que les farines de nos blés indigènes à gluten peu tenace doivent fermenter plus longtemps avec 0,8 à 1,2 % de levure, alors que les farines de force réussissent généralement bien mieux par une fermentation leste avec 1,2 à 2 % de levure au grand maximum. Nous insistons encore sur les excès faits si souvent à ce sujet et nous les critiquons d'autant plus quand ils sont préconisés par des scientifiques ou autres, qui doivent sans doute les proposer sans connaissances approfondies de la chose. Il en est ainsi pour quantité de méthodes d'essai de panification de laboratoire, pour lesquelles certains chercheurs préconisent jusqu'à 5 % de levure, soit 5 fois plus que ce qui est généralement employé dans la pratique pour une farine de blés indigènes par exemple. Ce n'est d'ailleurs par la place ici de critiquer les nombreuses micropanifications préconisées qui, à notre avis, traduisent très mal la valeur d'une farine, celle-ci étant souvent masquée par les nombreux excès à voir celui de l'emploi de fortes doses de levure. On se rapportera pour ces études plus utilement directement aux diverses publica-

tions pour en juger la véritable valeur. Nous considérons nombreux de ces procédés non seulement comme des pis aller, mais comme des erreurs manifestes dues à l'ignorance de la question.

Quant au boulanger, celui-ci aura toujours du succès en suivant la vieille règle qui dit de faire du pain qui n'est ni trop vieux ni trop jeune, il sera de bel aspect, d'odeur et de saveur agréable.

CONCLUSIONS DE LA TROISIEME PARTIE

1) Si on fait du pain avec une farine pauvre ou avec une farine riche en sucres diastasiques, on ne peut pas constater de différences de développement si la plasticité des deux farines est défectueuse ; la quantité de sucre offerte à la levure ne semble donc influer ni sur le volume du pain ni sur sa texture.

2) La levure de boulangerie ne possède pas de diastases susceptibles de saccharifier ni l'amidon globulaire ni l'amidon en empois.

3) Il préexiste dans les farines de froment environ 1,70 % de sucres non réducteurs.

D'après certains chercheurs (Lane et Eynon) ce sucre serait du saccharose.

Nous ne pouvons pas admettre que cette proportion de sucres soit constituée par du saccharose principalement pour les raisons suivantes :

a) La levure de boulangerie moyennant son invertase procède très facilement à l'inversion des dissolutions de saccharose pur. Ainsi dans des essais d'interversion de saccharose avons-nous retrouvé au dosage environ 77 % sous forme intervertie au bout de 1 heure de contact à 27° alors que la levure en agissant dans les mêmes conditions sur le saccharose-Lane préexistant dans les farines n'en intervertit que 6 % environ.

b) Le saccharose est entièrement fermentescible ; or, la proportion de sucre réducteur préexistant dans les farines, dosée par la méthode Lane, ne participe à la fermentation panaire qu'en raison de 2/3 environ.

La méthode Lane pour le dosage des sucres non réducteurs dans les farines est bonne. Quant à la nature des produits ainsi dosés, nous n'y pouvons reconnaître que la présence de saccharose exclusivement ; nous estimons que sur la moyenne de 1,70 % de sucres non réducteurs préexistants, 30 % au maximum reviennent au saccharose, le reste étant probablement du raffinose.

Nous estimons que la proportion de saccharose préexistant dans les farines est de l'ordre de 0,25 %.

4) La réserve de sucre, dans laquelle puise la levure au cours de la fermentation panaire, est constituée d'une part par une certaine quantité fixe de sucres non réducteurs préexistant dans les farines (saccharose, etc.) et d'autre part de quantités variables de maltose diastasique en fonction de la température et de la durée de la fermentation panaire.

5) La levure, sans s'occuper de l'importance de cette réserve, y puise en prenant davantage de l'un si l'autre fait défaut.

6) *Pour faire du pain de volume satisfaisant la levure demande environ 1,50 gr. de sucres pour 100 gr. de farine.*

7) Toutes les farines, quelle que soit la provenance des blés, possèdent une réserve en sucres suffisante pour produire le CO^2 nécessaire à la bonne levée à condition que leurs pâtes soient plastiquement assez bonnes pour pouvoir se distendre sous la poussée de ce gaz au long de la fermentation et au four.

8) L'importance de la réserve en sucres fermentescibles semble sans action sur la vitesse de levée de la pâte : *dans des farines plus ou moins riches en sucres fermentescibles la quantité de sucres disparaissant par fermentation est la même.*

Cette constatation concorde avec les travaux de R. Bonnet [24], d'après lesquels les microorganismes ignorent la consommation de luxe.

9) Les variations que peut faire subir le P. D. à la réserve totale en sucres fermentescibles des farines courantes saines au long de la fermentation, sont peu importantes et pratiquement sans influence sur leur valeur panifiable.

10) Les essais de fermentation panaire avec de fortes doses de levure démontrent que volume et texture du pain sont défectueux si le degré de plasticité de la pâte (maturation) est mauvais et cela indépendamment du volume pourtant très important de CO^2 produit.

Pour qu'une farine donne satisfaction à la boulangerie, il faut surtout qu'elle possède des qualités plastiques excellentes.

RESUME ET CONCLUSIONS

Depuis une dizaine d'années la chimie de la farine a considérablement évolué. Avec la création de la grande industrie meunière est apparu également le laboratoire spécialisé dans les recherches sur les blés, les farines et sur la fermentation panaire. Les nombreuses publications faites dans les revues des divers pays montrent l'intérêt apporté à l'étude systématique de la composition des farines et à la détermination de leur qualité boulangère. Passant en revue les divers facteurs qui sont susceptibles de déterminer la valeur panifiable d'une farine, il est attribué une importance plus ou moins grande à l'un ou à l'autre selon les chercheurs. L'extraction du gluten, sa quantité et sa qualité d'après l'appréciation de l'opérateur constituait, il y a quelques années encore, en dehors de l'essai de panification, à peu près la seule donnée analytique pour l'appréciation d'une farine. Si cette mesure présente toujours encore son intérêt, on n'a pas moins reconnu qu'elle était à elle seule insuffisante à exprimer intégralement la valeur d'une farine, et on a commencé à étudier d'autres facteurs encore contribuant à son évaluation, voire la composition minérale et organique, les propriétés physico-chimiques et fermentatives.

Etudiant personnellement les uns et les autres, notre attention avait été plus particulièrement attirée sur de nombreuses appréciations de part et d'autre de la valeur distasique, facteur auquel il a été à un moment donné — il y a trois ou quatre ans — attribué une importance presque tapageuse. Ayant terminé alors une grande étude sur la valeur de l'extensimètre Chopin, qui avait fait son apparition depuis quelques années, pour apprécier la valeur boulangère des farines et ayant reconnu son réel intérêt, nous avons voulu savoir si la valeur diastasique était vraiment plus importante pour l'obtention d'un pain bien développé que la valeur plastique de la farine. Car

nous avions estimé alors qu'il avait été écrit et attribué bien plus à la valeur fermentative et son importance pour l'évaluation des quantités boulangères qu'il en a été fait par des recherches suffisamment poussées. Nous avons donc voulu, par une étude serrée, mettre plus de jour dans ce domaine alors encore très obscur pour pouvoir connaître la part à attribuer à la valeur biologique et à la valeur physico-chimique ou plastique des farines.

Les farines sont douées de diverses propriétés enzymatiques dont les plus importantes sont dûes aux ferments amylolytiques et protéolytiques. Dans notre étude nous nous sommes exclusivement occupé des phénomènes amylolytiques qui, selon l'importance du sucre produit au détriment de l'amidon, déterminerait la valeur boulangère et plus particulièrement fermentative des diverses farines. D'après Woodmann le volume d'une miche de pain serait déterminé par le pouvoir amylolytique de la farine alors que sa forme le serait par les qualités plastiques. Notre étude démontrera s'il en est ainsi et laquelle des deux valeurs semble la plus importante.

Il ne peut exister de doutes sur la présence de sucre dans la pâte de farine pour permettre une fermentation, car il est reconnu depuis longtemps que la fermentation panaire est principalement de nature alcoolique. La quantité de sucre fermentescible préexistant dans les farines étant faible et se basant sur les proprétés enzymatiques du germe de blé, on pouvait prévoir logiquement certaines propriétés « lytiques » de la farine aussi faibles qu'elles soient. Après une entrée en matière nécessairement étendue, permettant à chacun d'acquérir les notions spéciales de la science et de la technique meunière et boulangère moderne, nous avons commencé à démontrer comme d'autres l'ont déjà fait, l'existence dans les farines de substances douées de propriétés amylolytiques. Pour la détermination du « Pouvoir Diastasique » la méthode élaborée à l'usage des industries de la malterie et de la brasserie a été adoptée et adaptée au cas des farines panifiables. Si cette méthode répond assez parfaitement aux conditions de travail de

ces industries, nous avons estimé que malgré les quelques ajustements apportés elle ne pouvait répondre aux conditions de la panification. Notre premier but consistait donc à mettre sur pied une méthode propre aux farines se rapprochant le plus possible des conditions de travail de la boulangerie. Dans ce but il a fallu étudier séparément les divers facteurs qui influent sur le Pouvoir Diastasique (P. D.) puis de combiner alors une méthode pratique, aisément réalisable même dans les laboratoires équipés plus modestement. Ainsi avons-nous étudié d'abord l'influence de la réaction du milieu (du pH) sur le P. D., travail qui nous permettra de fixer les conditions d'arrêt necessaire à connaître, pour supprimer à un moment voulu les phénomènes diastasiques. Nous avons pu démontrer alors l'existence de deux points d'arrêt de la saccharification diastasique, l'un en zone alcaline et l'autre en zone acide (pH 8, 5 et 3) ; de l'un à l'autre l'intensité passe par miximum à pH 5. Nous avons examiné ensuite l'influence de la température sur la vitesse de la saccharification. Elle est assez lente à basse température et marque une accélération très prononcée à partir de 45 à 50° C, phénomène qui trouve son explication par le fait de la transformation, à partir de ces températures, de l'amidon globulaire en empois. Nous avons vérifié la température optima de saccharification qui est pour les farines de 62 à 63° C, c'est-à-dire tout à fait identique à celle du malt d'orge par exemple. D'après les nombreuses prises de températures faites au cours d'une année dans diverses boulangeries, nous avons constaté que la température à laquelle sont soumises les pâtes à la fermentation panaire gravitait autour de 27° selon les saisons ; aussi avons-nous adopté définitivement ce chiffre comme valeur normale pour nos diverses mesures.

Vient ensuite l'étude de la saccharification en fonction du temps. Celle-ci nous a montré que l'intensité est très prononcée tout au début pour ralentir très considérablement au bout de quelques heures. Cette allure du phénomène se traduisant par un aplatissement progressif des courbes établies sur diverses farines de blés sains, légèrement et fortement

germés nous a fait supposer de multiples causes pouvant déterminer cette allure. Ainsi la quantité de substances douées de propriétés diastasiques et la qualité de l'amidon propre à chaque espèce de blé, la morphologie de l'amidon selon que les blés se trouvent dans un état de repos complet, dans les premiers stades de la germination ou franchement germés, pourraient-ils contribuer à l'allure de la saccharification d'une farine. Nous avons examiné systématiquement ces divers facteurs et apporté la preuve de leur participation aux phénomènes diastasiques.

L'étude de la concentration du milieu aqueux depuis la suspension absolument liquide jusqu'à l'état pâteux de consistance habituelle réalisée pour la panification, nous a permis enfin de fixer les conditions générales pour l'établissement d'une méthode qui traduit avec une fidélité très satisfaisante la valeur diastasique des farines.

Nous avons mesuré alors le P. D. d'un grand nombre de farines livrées au commerce, de farines saines et avariées ; nous avons étudié aussi des farines de blés purs de diverse provenance. Dans le cas des farines du commerce nous n'avons pu relever que de faibles variations du P. D., fait qui trouve son explication dans l'emploi d'un appareillage de meunerie perfectionné, universellement répandu d'abord, puis de la pratique courante consistant à procéder à des mélanges de blés de provenance essentiellement diverses. L'étude des farines de blés purs nous a montré des différences assez sensibles du P. D. permettant de supposer certaines variations plus ou moins importantes dans la fermentescibilité. Les parties périphériques et le germe du grain de blé étant tout particulièrement doués de propriétés diastasiques, nous avons montré l'influence du taux d'extraction sur le P. D. des farines et l'importance du mode de préparation des farines d'essai. Nous n'avons pu établir de rapprochement entre le P. D. et la composition chimique ou physique des farines préparées de blés de provenance diverse. Dans les grandes lignes il semble exister une relation entre le P. D. et l'humidité originale des blés, les farines issues de blés humides possédant

généralement un P. D. élevé contrairement à celles des blés très secs. Nous avons montré l'influence des avaries sur le P. D. L'acidification naturelle des farines augmente le P. D. dans les proportions déjà trouvées au cours de notre étude expérimentale de l'influence du pH sur la saccharification, confirmant ainsi les résultats alors obtenus. L'étude du phénomène sur des blés échauffés nous a permis d'émettre quelques considérations au sujet du conditionnement des blés et son influence sur le P. D., opération à notre avis inefficace sur l'activation des phénomènes diastasiques. Nous avons montré aussi que l'optimum d'activité diastasique à pH 5 ne se couvre pas avec l'optimum de plasticité, puisque malgré le dégagement possible d'un plus grand volume de CO^2 provenant d'une saccharification intense, la pâte ne peut retenir convenablement le gaz, sa plasticité étant mauvaise.

De cette première grande étude des phénomènes diastasiques propres aux farines, il résulte les conclusions suivantes:

Dès le pétrissage la pâte s'enrichit en sucre par action diastasique. L'étude de nombreuses farines de provenance diverse ne montre que de faibles variations dans le P. D. ; l'étude des farines expérimentales de blés purs démontre cependant des variations assez importantes qui sont susceptibles d'intervenir au cours de la fermentation panaire. L'étude enfin du P. D. permet avec d'autres mesures d'ordre chimique et physique de déterminer la valeur boulangère d'une farine.

Nous avons estimé que la seule étude des phénomènes diastasiques ne pouvait résoudre la question, à savoir si vraiment l'intensité de la production de sucre par amylolyse est susceptible de déterminer la valeur boulangère et plus particulièrement la valeur fermentative d'une farine. Pour cela il était nécessaire de connaître les besoins de la levure en sucre fermentescible, sachant quelle est la quantité minimum de sucre nécessaire à faire lever la pâte de farine convenablement. Il se pourrait, en effet, que la production de sucre soit insuffisante dans certaines farines aux besoins de la levure. Guidé par cette idée, nous avons essayé de mettre sur pied une méthode facile de fermentation, fidèle en tout point à celle

pratiquée en boulangerie pour le travail de panification dit « direct ». Contrairement à la pratique usuelle consistant à connaître le sucre disparu par fermentation en récupérant les gaz carboniques, nous avons voulu déterminer les pertes par des dosages de sucre directement. Car nous estimons qu'il est pratiquement impossible de faire dégager quantitativement le gaz à une pâte de farine. Nous devions, en principe, arriver au résultat par une simple soustraction des valeurs de sucre existant à un moment donné dans la pâte avec ou sans levure. Parallèlement à ces mesures nous procédons à des essais de panification, pour lesquels l'ensemble des opérations et des conditions de travail sont absolument identiques, laissant au boulanger le soin de nous indiquer le moment exact auquel, d'après son apprécation au toucher, la pâte est suffisamment levée et prête à l'enfournement. Après de nombreux tatonnements nous avons mis sur pied une méthode de travail très acceptable moyennant laquelle nous avons pu faire les diverses mesures. Au cours de cette mise au point qui nous a révélé quelques constatations à priori anormales, nous avons dû y reconnaître la préexistence dans les farines, en dehors du maltose diastasique, d'un sucre non réducteur mais fermentescible qui serait du saccharose d'après certains chercheurs. Nous n'avons pu reconnaître avec certitude l'existence de cette nature de sucre, représentant d'après Lane et Eynon environ 1,5 % de la farine. En effet, ce sucre ne se comporte pas tout à fait de la même façon en présence de levure que le saccharose chimiquement pur. La levure moyennant sa saccharase intervertit au bout de 3/4 d'heure environ 75 % de saccharose pur alors qu'elle ne peut intervertir que 6 % environ du saccharose-Lane contenu dans les farines. C'est pour cette raison que nous émettons des doutes pour reconnaître dans la substance dosée par la méthode Lane uniquement du saccharose. Il se pourrait d'ailleurs que l'inversion par l'acide à chaud, telle qu'elle est pratiquée dans cette méthode, atteigne en plus du saccharose encore d'autres saccharides à fonction réductrice bloquée. Toutefois quelle que soit la véritable identité du sucre dosé par la méthode Lane, qu'il s'agisse d'un seul ou

d'un mélange de plusieurs, les essais de fermentation nous ont montré que ce saccharose-Lane participe en plus grande partie à la fermentation panaire. Etant donné sa fermentescibilité, celui-ci vient donc s'ajouter au maltose diastasique et nous devions en tenir compte dans nos mesures.

Reprenant alors les essais de fermentation, nous avons mesuré d'abord l'ensemble des sucres fermentescibles disponibles dans la pâte, constituée par le sucre diastasique variable selon la durée de la saccharification (c'est-à-dire de la fermentation) d'une part, et d'autre part par une quantité fixe de saccharose-Lane préexistant dans la farine. Dans un deuxième essai identique, contenant en plus la levure, nous avons procédé au dosage des mêmes sucres au moment de l'enfournement des pâtes, correspondant au point de levée optimum, donné par le boulanger. Pour connaître l'influence sur la fermentation du rôle de la plus ou moins grande quantité de sucres disponible dans une farine, nous avons choisi 2 farines, l'une plus riche en sucres que l'autre (5,15 gr. contre 3,75 gr. de sucres au bout de 6 heures de saccharification). La farine plus pauvre en sucres était prête à l'enfournement au bout de 3 h. 15 et accusait alors une perte de 1,10 gr. de sucres pour 100 gr. de farine; la farine riche avait mis 3 h. 30 et avait perdu 1,15 gr. de sucres.

De ces derniers essais nous pouvons tirer les conclusions que voici :

Si l'étude purement diastasique des farines de diverses sortes de blés nous accusait des écarts assez considérables pouvant faire prévoir des différences possibles de leur valeur fermentative, cette valeur semble maintenant tout à fait inexistante pour les raisons suivantes :

1) Parmi nos blés étudiés, les plus pauvres en sucre diastasique, la quantité de sucre produite restait toujours supérieure à celle (1,10 gr.) qui était nécessaire à la levure pour réaliser une pâte bien levée. Il est cependant possible que la levure demande, pour travailler vigoureusement, à vivre dans un milieu sucré d'une concentration minimum peut-être insuffisamment réalisée dans certaines farines.

2) Mais comme il préexiste dans toutes les farines une certaine quantité de sucre non réducteur mais fermentescible, comprenant environ 1,60 % de la farine, celui-ci en s'ajoutant au sucre diastasique diminue très considérablement les écarts relatifs en sucres disponibles d'une sorte à l'autre et avec ces sucres toutes les farines sans exception peuvent ainsi répondre aux besoins de la levure.

3) Etant donné la disparition d'une quantité de sucre pratiquement égale et constante dans la farine riche comme dans la farine plus pauvre en sucres, la levure ne semble pas s'occuper des quelques différences même très sensibles de la quantité de sucres qu'elle rencontre en ne prenant que juste ce qu'il lui faut.

Si l'un des pains, que nous avons faits à titre de contrôle, a été plus beau comme forme et comme développement, cela ne pouvait donc pas tenir à des différences de volume de CO^2 dégagé, mais des différences de plasticité qui étaient en effet très prononcées pour les deux farines étudiées.

Nous croyons donc qu'on a jusqu'ici attribué faussement trop d'importance au pouvoir diastasique des farines pour l'interprétation de leur valeur boulangère. Nous ne voulons naturellement pas nier par là l'importance ou la nécessité de ce phénomène dans les farines, qui est certes indispensable pour une bonne fermentation, le sucre préexistant seul étant sans doute trop juste surtout dans les farines de faible taux d'extraction. Le but principal de nos recherches consistait surtout à savoir si des variations assez sérieuses pouvant exister dans les farines saines étaient vraiment susceptibles d'agir d'une façon aussi importante sur la valeur boulangère ou plus spécialement sur la valeur fermentative. Nous avons montré l'extrême importance de la plasticité des pâtes pour la rétention des gaz de fermentation ainsi que l'impossibilité absolue d'obtenir alors un pain convenablement levé aussi importante que soit la disponibilité des farines en sucres. En substance nous concluons donc que toute farine saine, avec le sucre préexistant et diastasique, possède toujours une réserve suffi-

santè pour permettre à la levure de dégager le volume de gaz carbonique nécessaire à la bonne levée de la pâte.

Le volume d'une miche de pain dépend bien moins du plus ou moins grand volume de gaz dégagé par la levure que de la parfaite plasticité de la pâte en retenant le plus de gaz possible.

Nous estimons que le seul intérêt que présente le pouvoir diastasique réside dans la détermination plus sûre de l'état sain ou avarié d'une farine, indiquant plus spécialement, et en tenant compte du pH, l'emploi de blés germés dans une mouture.

APPENDICE

Documentation

(1) Léon Boutroux : Le pain et la panification (1897).
(2) Dr Karl Mohs : Mehlchemie (1927).
(3) Aimé Girard et Lindet : Le froment et sa mouture (1903).
(4) Berliner u. Koopmann : Die Backfähigkeit der Weizenmehle und ihre Ermittlungsmöglichkeiten (Zeitschrift für das gesamte Mühlenwesen, August 1927).
(5) — Idem, Oktober 1927.
(6) Schmorl : Das Problem « Backfähigkeit » in Praxis u. Wissenschaft (Zeitschrift für das gesamte Mühlenwesen, September 1925).
Berliner u. Koopmann : Die Backfähigkeit der Weizenmehle und ihre Ermittlungsmöglichkeiten (Zeitschrift für das gesamte Mühlenwesen, Januar, Februar, März, April, Juni, Juli 1927).
(7) Dr E. Abderhalden : Biochemisches Handlexikon IV. Band, 2. Hälfte (1910).
(8) Loeb : Le pH des farines de froment et son influence sur la plasticité des pâtes (dans l'ouvrage de Verain et Chaumette : Le pH en biologie, 1928).
(9) Berliner u. Koopmann : Die Backfähigkeit der Weizenmehle und ihre Ermittlungsmöglichkeiten (Zeitschrift für das gesamte Mühlenwesen, Oktober 1927).
(10) Loeb : Le pouvoir diastasique des farines (Journal de la Meunerie française N° 462, août 1928).
(11) M. R. Legendre : Applications aux céréales de la notion du pH (conférence faite au 35e Congrès de la meunerie française en novembre 1928).
(12) Dr Ch. Schweiser : Die Bestimmung der Backfähigkeit von Weizenmehlen im Laboratoriumsversuch (Travaux de chimie alimentaire publiés par le service fédéral de l'hygiène publique à Berne, vol. XVIII, fasc. 2, 1927).
(13) Berliner u. Rüter : Zuckenbestimmung in Roggen — und Weizenmehlen (Zeitschr. f. d. ges. Mühlenwesen, Oktober 1928).
(14) Dr Ed. Ernyei : Die Aufbewahrung des Brotteiges in Kühlkammern (Zeitschr. f. d. ges. Mühlenwesen, Oktober 1926).

(15) Berliner u. Rüter : Diastasestudien an Weizenmehlen (Zeitscr. f. d. ges. Mühlenwesen, Dezember 1928).
(16) B. d'Arbouet : Deux applications de la théorie du pH à l'étude des farines (Journal de la Meunerie, février 1926).
Berliner u. Koopmann : Die Backfähigkeit der Weizenmehle und ihre Ermittlungsmöglichkeiten (Zeitschr. f. d. Mühlenwesen, Oktober 1927).
(17) — Idem, April 1927.
(18) J. Raux : L'échauffement des orges (compte rendu de Fernbach dans Chimie et Industrie, février 1929).
(19) E. Berliner : Ueber das Schimmeln der Weizenmehle (Zeitschrift f. d. ges. Mühlenwesen, November 1927).
(20) Dr K. Mohs : Mehlchemie (Zeitschr. f. d. ges. Mühlenwesen, Septembre 1926).
tel beim Backpprozess (Zeitsch. f. d. ges. Mühlen-
(21) Dr K. Schmorl : Natürliche u. chemische Triebmitwesen, juli. 1927).
(22) Dr Schmorl : Analytische Betrachtungen über die Bestimmungsmethoden für Rohfaser, Pentosane u. Fermente der Getreidemehle (Zeitsch. f. d. ges. Mülenwesen, Mai 1928).
(23) Berliner u. Rüter : Weitere Beiträge zur Charakterisierung von Roggen. u. Weizenmehlen durch Utersuchug ihrer wässrigen Auszüge (Zeitschr. f. d. ges. Mühlenwesen, Oktober 1928).
(24) R. Bonnet, Docteur-ès-Sciences naturelles, Assistant à l'Institut de Physiologie générale de la Faculté des Sciences de Strasbourg : « Métabolisme énergétique et Alimentation, Consommation de luxe et Action dynamique spécifique.»

L'EXTENSIMETRE CHOPIN

Nous nous servons depuis 6 ans de cet appareil pour mesurer le plasticité des pâtes de farine. Depuis ce temps nous avons eu l'occasion d'en étudier la valeur en suivant parallèlement ses données, comparativement aux résultats de panification sur des cas aussi différents que possible. Ainsi avons-nous dû reconnaître, avec les perfectionnements qu'il a subis depuis, la grande utilité de cet appareil et nous le considérons à l'heure actuelle comme point d'appui indispensable pour l'interprétation de la valeur d'une farine. Nous estimons, en effet, que les données fournies par cet appareil représentent 80 % au moins de l'ensemble des facteurs qui déterminent la valeur boulangère d'une farine.

Voici la description relative au fonctionnement de cet appareil tirée d'une communication faite à l'Académie d'Agriculture de France par MM. Jacques et Roger de Vilmorin et Marcel Chopin le 8 mai 1929 :

Dès 1929, les études de M. Chopin sur les phénomènes plastiques présentés par les pâtes de farine l'avaient amené à conclure que certaines propriétés mécaniques de ces dernières étaient liées d'une manière étroite avec leur degré d'aptitude à la panification.

Examinons dans quelles canditions doit être faite cette épreuve mécanique :

La fermentation provoque la transformation d'une pâte massive en matière spongieuse, et elle met en jeu deux ordres de phénomènes bien distincts: 1° des phénomènes plastiques qui consistent dans la modification graduelle d'une pâte compacte en membranes minces limitant les alvéoles ; 2° des phénomènes bactériologiques qui provoquent l'insertion graduelle du gaz carbonique au sein de la pâte, et qui engendrent par suite cette modification de forme. La cuisson solidifie ensuite les parois des innombrables alvéoles contiguës.

En modifiant la quantité de levure ou la température de fermentation, le boulanger peut agir dans une large mesure sur la vitesse de la fermentation, et il n'apparaît pas que l'activité distasique de la farine puisse être considérée comme un facteur important de la valeur boulangère. Le développement de la pâte en membrane mince joue par contre un rôle essentiel. On conçoit en effet que la panification aura été d'autant plus complète que la pâte aura pu s'étendre davantage en membranes minces tout en présentant une ténacité suffisante pour résister aux efforts développés pendant le travail.

La méthode que nous avons employée consiste dans la déformation de pâtes homogènes obtenues dans un état de plasticité voisin de celui réalisé dans le pétrin du boulanger et dans des conditions aussi définies que possible. On procède alors à un essai mécanique d'éprouvette de cette pâte développée en membrane mince jusqu'à la rupture, en mesurant les changements de dimensions éprouvées par la pâte et en enregistrant la variation de l'effort nécessaire par cette déformation.

La pâte est obtenue en pétrissant à la température de 20° pendant 8 minutes, 350 gr. de farine et 175 cc. d'eau salée renfermant 25 gr. de NaCl par litre. On tient compte de l'humidité de la farine (base 15 %) pour réaliser une hydratation totale constante. Le pétrin est entraîné mécaniquement à une vitesse constante, et il porte des dispositifs de chauffage électrique et de refoidissement par circulation d'eau. A la sortie du pétrin, on donne à la pâte la forme d'un cylindre qui est déposé dans un moule de forme convenable pendant 20 minutes. Ce cylindre est alors divisé en huit pâtons successivement essayés avec l'extensimètre Chopin. Cet appareil comprend un bâti de fonte maintenu à température constante (25°) et surmonté d'une platine horizontale de bronze. Une seconde platine peut être rabattue sur la première à une distance de 2, 6 mm. fixée par deux cales d'épaisseur, et de façon à lui être parallèle dans cette position. La platine inférieure est percée d'une ouverture tronconique de faible diamètre, et la platine supérieure porte également une ouverture tronconique de 58 mm.

de diamètre. Les axes des ouvertures coïncident dans la position de rabattement, et les ouvertures sont obturables par des clapets de même forme. Enfin l'ouverture de la platine inférieure surmonte une chambre qui est reliée d'une part à un dispositif qui assure un écoulement d'air, de volume croissant suivant une loi déterminée, et d'autre part à un manomètre enregistreur.

Chaque éprouvette de pâte est aplatie entre les deux platines jusqu'à la rencontre des cales. L'enlèvement des tampons permet alors de délimiter au centre de la galette de pâte une éprouvette ayant la forme d'un disque de dimensions déterminées.

On effectue alors les départs simultanés du tambour de l'enregistreur et du courant d'air. Le gonflement de la pâte se produit et l'on voit la membrane s'étendre en prenant la forme d'une calotte sphérique dont le volume ne cesse de croître jusqu'à ce que se produise la rupture de la très mince membrane finalement obtenue.

Pendant l'extension de la pâte le manomètre enregistre la variation de la pression de l'air. Cette pression passe par un maximum, puis décroît rapidement en traçant un arc d'hyperbole équilatère, pour s'annuler enfin lors de la rupture de la mince membrane.

Les huit diagrammes partent d'une origine commune, ce qui permet de tracer aisément le diagramme moyen de déformation. La pression maximum mesure la ténacité de la pâte. Elle est évaluée en millimètre d'eau et représentée par la lettre P. La comparaison avec les essais de panification montre que la quantité d'eau absorbée au pétrissage est d'autant plus grande que P est plus élevé.

L'extension lamellaire de la pâte est mesurée par le volume d'air Vr qui provoque la rupture de l'éprouvette, ou encore par l'abcisse finale du diagramme. Les essais de panification ont montré que l'accroissement de volume pris par la pâte au cours de la panification est approximativement proportionnel à la racine carrée du coefficient d'extension lamellaire. On

l'appelle pour cette raison indice de gonflement et on désigne par la lettre G cette racine carrée.

La déformation de l'éprouvette de pâte exige un certain travail. A un instant quelconque du gonflement l'insertion sous la pâte du volume d'air élémentaire dV, sous la pression instantanée P, correspond au travail P. dV. Le travail total effectué par l'air, et subi par la pâte, est donc obtenu en planimétrant la surface limitée par le diagramme. Ce travail se rapporte à des dimensions d'éprouvettes qui ont été arbitrairement choisies. En les divisant par le poids moyen des membranes, on aboutit finalement à une grandeur spécifique qui est le travail d'extension lamellaire d'un gramme de pâte. Cette grandeur est mesurée en ergs et elle est désignée par la lettre W.

Plusieurs milliers d'échantillons de blés de toutes provenances ont été essayés avec cette méthode, principalement dans les laboratoires des grands Moulins de Paris. Les farines étaient uniformément extraites à 50 %. Ces essais ont montré que le travail spécifique de déformation W varie dans des proportions considérables, allant de 10×10^3 ergs par gramme, pour des variétés à peine panifiables, à 350×10^3 pour certains Manitoba. L'étendue de cette échelle de variation montre à quel point il est nécessaire de se préoccuper de ce facteur pour fixer la valeur boulangère d'un blé.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS ET NOTIONS GENERALES

	Pages
Historique et modes de panification	IV
De la provenance du sucre nécessaire à la panification.	XI
Anatomie et composition du grain de blé	XIV
La mouture du blé	XVI
Composition générale des farines panifiables	XX
Etude physiologique du grain de blé	XXIV

PREMIERE PARTIE

Etude systématique des phénomènes diastasiques dans les farines et élaboration d'une méthode de mesure

Mise en évidence des phénomènes diastasiques dans les farines	1
Etude d'un mode pratique d'arrêt de la saccharification	5
Etude de l'influence du pH sur la saccharification diastasique	12
Méthode définitive pour le dosage du sucre dans les farines	20
Influence de la température sur la saccharification diastasique	23
Le Pouvoir Diastasique en fonction du temps	29
La saccharification diastasique en fonction de la concentration du milieu	34
Etude complète d'une méthode définitive de détermination du Pouvoir Distasique des farines et des blés	39

DEUXIEME PARTIE

Etude générale

Pages

Etude générale du facteur diastasique dans les farines. 51
Etude pratique de facteurs qui agissent sur la saccharification :
a) Quantité et qualité des diastases..... 72
b) Influence de la nature de l'amidon sur la production de sucre diastasique..... 77
Des blés altérés et des farines avariées..... 84
Blés avariés par échauffement..... 95
L'avarie des farines : modification de la réaction du milieu 101

TROISIEME PARTIE

Le besoins de la levure de boulangerie en sucre fermentescible

Evaluation de la quantité de sucre nécessaire à la levure pour faire un pain normalement développé 127
Résumé et Conclusions..... 187

APPENDICE

Documentation 196
L'extensimètre Chopin..... 198

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

SYNTHÈSE DES HYDRURES DE MÉTALLOÏDES

Vu et Approuvé :

Strasbourg, le 19 Février 1930.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

E. ROTHÉ.

Vu et Permis d'Imprimer :

Strasbourg, le 20 Février 1930.

Le Recteur,
Président du Conseil de l'Universté :

Chr. PFISTER.

IMPR. LOUIS JEAN, GAP. - PÉRIODIQUES-PUBLICATIONS